



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Titulació:

Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Alumne:

Christian Ardèvol Guillamón

Enunciat TFG (o TFM):

**Projecte de desenvolupament d'una unitat de
mesura inercial portàtil per a la millora del
rendiment esportiu**

Director del TFG (o TFM):

Raúl Fernández García

Convocatòria de Lliurament:

Setembre – Octubre 2019

ABSTRACT

The main purpose of this project is to make a sensing system prototype in order to obtain the necessary information to improve the sport performance.

The prototype consists of two IMU (Inertial Measurement Unit) LSM9DS1 to get the data. Then, it is sent via I2C protocol to an Arduino board and, after that, to a mobile phone application using the Bluetooth module HC-05. Finally, these readings are treated and showed with the Matlab software.

The results achieved in this project are the capability to get the physic magnitudes of acceleration, spin speed and magnetic field. The next step could be the orientation calculation. Furthermore, it would be a good continuation of the project, the creation of a new prototype which was implemented just in the sports clothes.

RESUM

L'objectiu principal d'aquest projecte és fer un prototip d'un sistema de sensors orientat a obtenir la informació necessària per a la millora del rendiment esportiu.

El prototip consisteix en dues IMU (Unitat de Mesura Inercial) LSM9DS1 per a prendre les dades. Llavors, aquestes s'envien mitjançant el protocol I2C a una placa Arduino i, seguidament, a una aplicació mòbil emprant el mòdul Bluetooth HC-05. Finalment, aquestes lectures són tractades i mostrades amb el programa Matlab.

Els resultats aconseguits en aquest projecte són la capacitat d'obtenir les magnituds físiques de l'acceleració, la velocitat de gir i el camp magnètic. El següent pas podria ésser arribar a calcular l'orientació. A més a més, una bona continuació del projecte seria l'adaptació del prototip per a implementar-lo directament a la roba de l'esportista.

ÍNDEX

ÍNDEX D'IMATGES	6
ÍNDEX DE TAULES	7
1. INTRODUCCIÓ	8
1.1. MOTIVACIÓ	9
1.2. OBJECTIUS I ABAST DEL PROJECTE	9
2. FONAMENTS TEÒRICS	10
2.1. UNITAT DE MESURA INERCIAL	10
2.2. PROTOCOLS DE COMUNICACIÓ	11
2.2.1. <i>PROTOCOL UART</i>	11
2.2.2. <i>PROTOCOL I2C</i>	12
2.2.3. <i>PROTOCOL BLUETOOTH</i>	14
2.3. SORTIDA DE COL·LECTOR OBERT	14
2.3.1. <i>RESISTÈNCIES DE PULL UP / PULL DOWN</i>	15
2.4. ERRORS DE MESURA	16
2.5. RENDIMENT ESPORTIU	16
2.6. CAPACITATS FÍSQUES BÀSIQUES	17
2.6.1. <i>FORÇA</i>	17
2.6.2. <i>RESISTÈNCIA</i>	17
2.6.3. <i>VELOCITAT</i>	17
2.6.4. <i>FLEXIBILITAT</i>	18
3. ESTAT DE L'ART	19
3.1. PROPOSTES ACTUALS	19
3.1.1. <i>OPTOJUMP</i>	20
3.1.2. <i>ENCODER 6.0</i>	21
4. METODOLOGIA I DESENVOLUPAMENT	22
4.1. MATERIALS	22
4.1.1. <i>PLACA ARDUINO UNO</i>	22
4.1.2. <i>LSM9DS1</i>	23
4.1.3. <i>MÒDUL BLUETOOTH HC-05</i>	25
4.1.4. <i>MÒBIL ANDROID</i>	25
4.1.5. <i>MATLAB</i>	26
4.2. MÈTODES	26
4.2.1. <i>ARDUINO I 1 LSM9DS1</i>	28
4.2.2. <i>ARDUINO I 2 LSM9DS1</i>	30
4.2.3. <i>ARDUINO I HC-05</i>	33
4.2.4. <i>APLICACIÓ MÒBIL</i>	34
4.2.5. <i>MATLAB</i>	36
4.3. DESENVOLUPAMENT	38
5. RESULTATS	40
5.1. PRESS BANCA	40
5.2. ESQUAT	44
6. PRESSUPOST	50
7. CONCLUSIÓ	52

7.1.	TREBALLS FUTURS.....	52
8.	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	54
9.	ANNEXOS.....	57
9.1.	ANNEX A: PASOS A SEGUIR PER A RECOPILAR I VISUALITZAR LES DADES EN EL PROGRAMA MATLAB	57
9.2.	ANNEX B: CODI DEL PROGRAMA ARDUINO.....	58
9.3.	ANNEX C: CODI DE L'APLICACIÓ.....	63
9.4.	ANNEX D: CODI MATLAB	73
9.5.	ANNEX E: GRÀFICS EXERCICI DE <i>PRESS BANCA</i> (SÈRIES DE 0KG I 40KG)	76
9.6.	ANNEX F: GRÀFICS EXERCICI D'ESQUAT (SÈRIES DE 30KG I 70KG)	79
9.7.	ANNEX G: AUTOINFORME DE QUALITAT	82

ÍNDEX D'IMATGES

IMATGE 1: DIAGRAMA DE GANTT DEL PROJECTE.....	8
IMATGE 2: UNITAT DE MESURA INERCIAL LSM9DS1	10
IMATGE 3: TRAMA DEL PROTOCOL DE COMUNICACIÓ UART (FONT: HTTPS://HETPRO- STORE.COM/TUTORIALES/PUERTO-SERIAL/).....	12
IMATGE 4: ESQUEMA GENÈRIC DE CONNEXIONS PER AL PROTOCOL I2C.	13
IMATGE 5: EXEMPLE D'UNA TRAMA DEL PROTOCOL I2C (FONT: HTTPS://TESLABEM.COM/NIVEL- INTERMEDIO/FUNDAMENTOS-DEL-PROTOCOLO-I2C-APRENDE/).....	13
IMATGE 6: RESISTÈNCIES DE PULL-UP EN ELS BUSOS DE COMUNICACIÓ DEL PROTOCOL I2C.....	14
IMATGE 7: REPRESENTACIÓ ESQUEMÀTICA D'UNA SORTIDA DE COL·LECTOR OBERT (FONT: HTTPS://ZARAGOZMAKERSPACE.COM/INDEX.PHP/GPIOS-1-3-SALIDAS-PUSH-PULL-VS-DRENADOR- ABIERTO/).....	15
IMATGE 8: ESQUEMA COMPARATIU ENTRE UNA RESISTÈNCIA DE <i>PULL-DOWN</i> (ESQUERRA) I UNA DE <i>PULL-UP</i> (DRETA).	15
IMATGE 9: SISTEMA OPTOJUMP (FONT: OPTOJUMP.COM/WHAT-IS-OPTOJUMP.ASPX).....	20
IMATGE 10: ENCODER 6.0 (FONT: HTTP://SISTEMAINERCIAL.BLOGSPOT.COM/)	21
IMATGE 11: PLACA ARDUINO UNO.	22
IMATGE 12: PLACA D'AVUACIÓ STEVAL-MKI159V1.	23
IMATGE 13: DIAGRAMA DE COMUNICACIÓ I2C DEL LSM9DS1 (FONT: FULL DE CARACTERÍSTIQUES DEL LSM9DS1).....	24
IMATGE 14: MÒDUL HC-05.	25
IMATGE 15: CAPTURA DE PANTALLA DEL PROGRAMA MATLAB.....	26
IMATGE 16: ESQUEMA DE CONNEXIONS DE TOTS ELS ELEMENTS REALITZAT AMB EL PROGRAMA FRITZING.....	27
IMATGE 17: ESQUEMA DE CONNEXIONS DE L'ARDUINO AMB UNA SOLA IMU REALITZAT AMB FRITZING. 28	
IMATGE 18: DIAGRAMA DE FLUX DEL PROGRAMA QUE CONTROLA L'ARDUINO QUAN ES CONNECTA UNA SOLA IMU.	29
IMATGE 19: ESQUEMA DE CONNEXIONS DE L'ARDUINO I 2 IMU REALITZAT AMB FRITZING.	30
IMATGE 20: DIAGRAMA DE FLUX DEL PROGRAMA QUE CONTROLA L'ARDUINO QUAN ES CONNECTEN LES 2 IMU.....	32
IMATGE 21: ESQUEMA DE CONNEXIONS DEL MÒDUL HC-05 AMB L'ARDUINO REALITZAT AMB FRITZING.	33
IMATGE 22: CAPTURA DE PANTALLA DE L'APLICACIÓ.	34
IMATGE 23: DIAGRAMA DE FLUX DE L'APLICACIÓ MÒBIL.	35
IMATGE 24: DIAGRAMA DE FLUX DEL PROGRAMA DE MATLAB.	37
IMATGE 25: EXERCICI DE <i>PRESS BANCA</i> I EIXOS DEL SENSOR.	40
IMATGE 26: GRÀFIC DE LES MESURES DELS ACCELERÒMETRES EN L'EXERCICI DE <i>PRESS BANCA</i> (20KG).	41
IMATGE 27: GRÀFIC DE LES MESURES DELS GIROSCOPIS EN L'EXERCICI DE <i>PRESS BANCA</i> (20KG).....	41
IMATGE 28: GRÀFIC DE LES MESURES DELS MAGNETÒMETRES EN L'EXERCICI DE <i>PRESS BANCA</i> (20KG).	42
IMATGE 29: GRÀFIC COMPARATIU ENTRE LES ACCELERACIONS DE L'EIX X EN LES 3 SÈRIES DE <i>PRESS BANCA</i>	43
IMATGE 30: GRÀFICA FORÇA – TEMPS DE L'EXERCICI DE <i>PRESS BANCA</i>	44
IMATGE 31: EXERCICI D'ESQUAT I EIXOS DEL SENSOR.....	45
IMATGE 32: GRÀFIC DE LES MESURES DELS ACCELERÒMETRES EN L'EXERCICI D'ESQUAT (50KG).	46
IMATGE 33: GRÀFIC DE LES MESURES DELS GIROSCOPIS EN L'EXERCICI D'ESQUAT (50KG).	46
IMATGE 34: GRÀFIC DE LES MESURES DELS MAGNETÒMETRES EN L'EXERCICI D'ESQUAT (50KG).....	47
IMATGE 35: GRÀFIC COMPARATIU ENTRE LES VELOCITATS DE GIR DE L'EIX Z EN LES 3 SÈRIES D'ESQUAT.	48
IMATGE 36: GRÀFICA FORÇA – TEMPS DE L'EXERCICI D'ESQUAT.	49

ÍNDIX DE TAULES

TAULA 1: PINS I CONNEXIONS DEL LSM9DS1 AMB L'ARDUINO	24
TAULA 2: PINS I CONNEXIONS DE L'HC-05 AMB L'ARDUINO	25
TAULA 3: PRESSUPOST DEL PROTOTIP.	50
TAULA 4: PRESSUPOST DE LA MÀ D'OBRA.	50
TAULA 5: PRESSUPOST TOTAL DEL PROJECTE.....	51

1. INTRODUCCIÓ

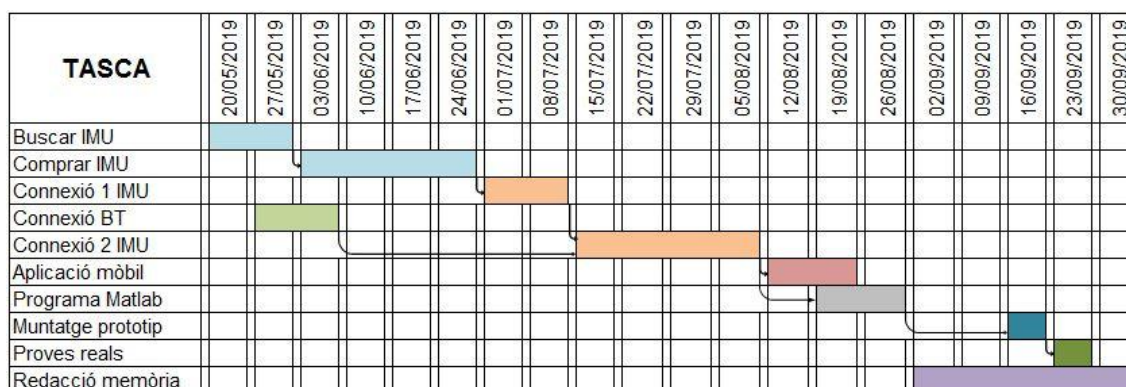
La finalitat d'aquest projecte és la realització d'un prototip per a la pressa de mesures amb l'objectiu de millorar el rendiment esportiu.

Per a aconseguir-ho s'han emprat dues IMU (Unitat de Mesura Inercial) LSM9DS1 de la casa STMicroelectronics encabides en la placa de circuit integrat STEVAL-MKI159V1 de la mateixa. Aquestes unitats són les que prenen les mesures i les envien a la placa Arduino via comunicació I2C.

La placa Arduino, fent servir la llibreria *Adafruit_LSM9DS1.h*, transforma els valors digitals a les magnituds físiques corresponents i ho envia, emprant la comunicació Bluetooth gràcies al mòdul HC-05 de ITEAD, a una aplicació al mòbil. Aquesta ha estat creada expressament per a la realització del projecte.

Finalment, aquestes dades es tracten i es visualitzen al programari Matlab de l'empresa MathWorks.

Tot això s'ha dut a terme amb el pla de treball que es pot veure a continuació:



Imatge 1: Diagrama de Gantt del projecte.

Inicialment, però, els objectius del projecte també incloïen la transmissió directa de les dades de l'Arduino a l'ordinador. A més, com a pas final, el qual ja depenia des d'un principi de com evolucionés el projecte, també hi havia la possibilitat de crear un prototip del sensor en teixit, és a dir, que formés part intrínseca d'alguna peça de roba.

Tanmateix, degut a diversos factors, entre els quals es troben el fet de què els objectius inicials eren, probablement, massa ambiciosos; que la creació del prototip actual ha estat més complicada i laboriosa del que s'esperava, ja que han sorgit molts contratemps, sobretot relacionats amb les connexions, tant a nivell físic com de programari; i a un seguit de conjuntures familiars que no m'han permès dedicar el temps necessari i desitjat al projecte; els objectius han patit els següents canvis:

- El prototip s'ha mantingut en la primera fase de la seva evolució.

- No ha estat factible la connexió directa entre l'Arduino i l'ordinador.

1.1. MOTIVACIÓ

Sempre m'ha cridat l'atenció el món dels sensors i de la programació. Així, com aquest projecte engloba els dos, em semblí interessant des d'un principi.

A més, fa 15 anys que practico esport i sempre m'han donat els resultats del rendiment segons valors basats en el temps que es triga a fer l'exercici, en el nombre de repeticions o en altres encara més subjectius. Per això, quan se'm va donar l'oportunitat de realitzar un projecte en què es pogués mesurar aquest rendiment de manera objectiva i des d'un punt de vista més precís i acurat, m'adoní que aquest podria ésser el primer pas per a, posteriorment, poder aplicar-ho a allò a què m'he estat dedicant durant la major part de la meva vida.

1.2. OBJECTIUS I ABAST DEL PROJECTE

L'objectiu principal d'aquest projecte és la creació d'un prototip per a l'obtenció de les dades pertinents a l'activitat esportiva.

El prototip consisteix en dues unitats de mesura inercial que es comuniquen amb una placa controladora que, a la vegada, transmet la informació via Bluetooth al mòbil.

Per a assolir aquest objectiu s'han de conèixer i entendre els següents aspectes:

- El funcionament de la IMU LSM9DS1
- El funcionament del mòdul Bluetooth HC-05
- El programari i el maquinari Arduino
- El llenguatge de programació Java per a la creació de l'aplicació
- El programa Matlab i el seu llenguatge

2. FONAMENTS TEÒRICS

Aquest projecte consisteix en prendre les mesures d'acceleració, velocitat de gir i camp magnètic que es produeixen durant un entrenament esportiu. Aquestes s'obtenen gràcies a un conjunt de sensors, dos en aquest cas, anomenats IMU. A continuació, les dades en qüestió es transmeten a una placa controladora mitjançant un protocol de comunicació sèrie anomenat I2C i aquestes són tractades per la placa per a obtenir uns valors a què hom està acostumat. És a dir, el controlador transforma els números que rep dels sensors en les unitats corresponents de les magnituds que mesuren aquests (acceleració en m/s^2 , velocitat de gir en graus per segon i camp magnètic en Gauss). Un cop fet aquests càlculs, la placa envia les lectures a una aplicació mòbil via una altra comunicació sèrie, però, en aquest cas, s'utilitza el protocol Bluetooth. L'aplicació només s'empra per a rebre i guardar les dades i, posteriorment, aquestes es transmeten, manualment, a l'ordinador per a tractar-les i visualitzar-les gràficament.

Seguidament, per a tenir una base sòlida a l'hora d'enfrontar-se a aquest projecte i conèixer els temes que s'han tractat a l'anterior paràgraf, a continuació s'explicaran tots aquest fonaments teòrics.

2.1. UNITAT DE MESURA INERCIAL

Una Unitat de Mesura Inercial (IMU, de l'anglès *Inertial Measurement Unit*) és un conjunt de sensors aplicats a l'estudi del moviment i de l'orientació d'allò on estan acoblats, ja sigui un robot, una persona, etc.



Imatge 2: Unitat de Mesura Inercial LSM9DS1

I hi ha de diferents tipus. Principalment, es distingeixen pel nombre de graus de llibertat que tenen. Així trobem, habitualment, dos grups:

- **Les de 6 DOF:** constituïdes per un acceleròmetre i un giroscopi.
- **Les de 9 DOF:** que, a més, contenen un magnetòmetre.

Sigui quin sigui el tipus, cadascun dels sensors pren les mesures corresponents en els tres eixos de l'espai (X, Y i Z), tenint així, 3 graus de llibertat per cada sensor que contingui.

Les susdites mesures s'obtenen de forma mecànica, és a dir, una IMU consisteix en una unitat MEMS (MicroElectroMechanical Systems) en què, bàsicament, s'utilitzen dispositius mecànics a una escala micromètrica per a prendre aquestes mesures. Per això mateix, per exemple, sempre està mesurant, com a mínim, una acceleració de $9,8\text{m/s}^2$ degut a què al sistema mecànic sempre li actua la gravetat.

2.2. PROTOCOLS DE COMUNICACIÓ

Un protocol de comunicació és un seguit de criteris preestablerts que empren emissor i receptor per a tenir la seguretat de què ambdós s'entendran.

En aquest projecte s'han empleat diferents protocols de comunicació. Per això mateix, tot seguit es donaran a conèixer i s'explicaran les seves principals característiques.

2.2.1. PROTOCOL UART

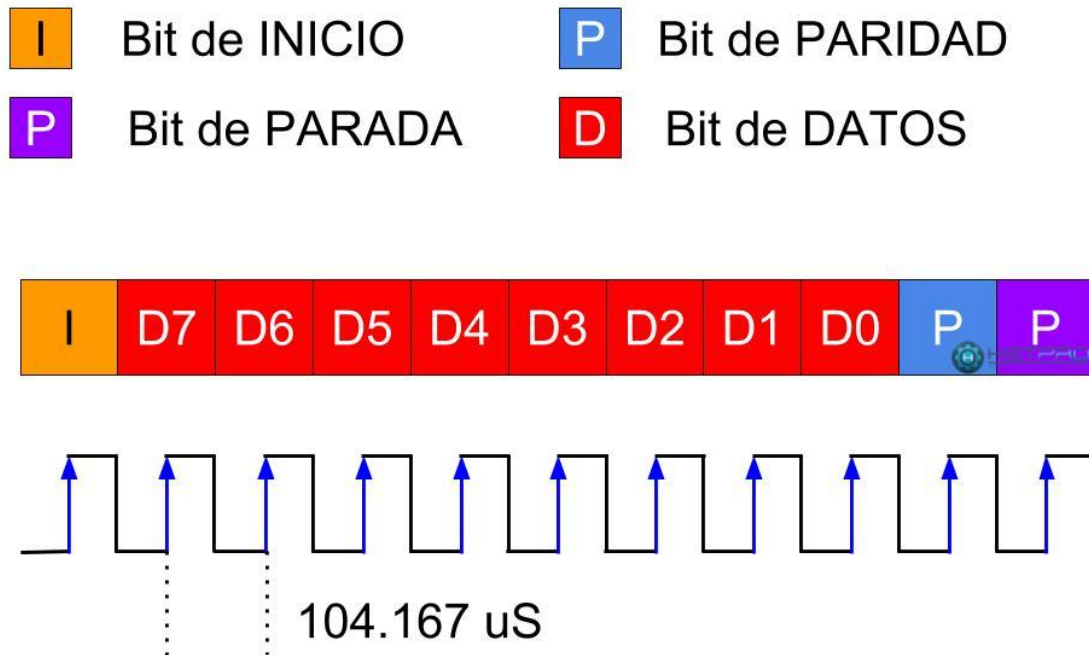
El seu nom prové de les sigles de Transmissor Receptor Asíncron Universal en anglès. És el protocol emprat en la comunicació entre l'Arduino i l'ordinador quan es transmeten les dades entre ells o, fins i tot, quan es vol carregar el programa al xip de la placa.

Les comunicacions que utilitzen aquest protocol, es basen en una comunicació sèrie, és a dir, les dades són transmeses bit rere bit i tot i que per aquest fet, són més lentes que una comunicació en paral·lel, el cost és molt més baix perquè només es necessita un sol cable. Mentre que en l'altra, se'n necessiten tants com bits tingui la unitat d'informació que es vol transmetre.

Hi ha diferents tipus de comunicació sèrie, depenent del sentit en què es puguin enviar les dades:

- **Símplex:** comunicació que sempre es dur a terme en únic sentit. S'utilitza quan interessa tenir un únic transmissor que sigui l'encarregat d'enviar la informació a diferents receptors (p. ex.: les ràdios).
- **Dúplex o Half-Dúplex:** en aquesta versió ja es pot enviar la informació en ambdós sentits. És a dir, un mateix aparell pot fer de transmissor i receptor. No obstant, no ho pot ser a la vegada ja que el cable de dades és el mateix tant per a l'enviament com per a la recepció.
- **Full-Dúplex:** aquest últim tipus afegeix un cable més a la estructura de comunicació i, amb això, permet que la comunicació sigui en ambdós sentits i, a més, que pugui enviar-se i rebre's dades a la vegada.

La transmissió de la informació, com en qualsevol protocol de comunicació, es produeix a través d'una trama. Hi ha de diferents segons la velocitat desitjada o la informació addicional que es vulgui enviar. Tanmateix, una trama tipus podria ésser la que es pot observar en la imatge a continuació:



1 bit de Parada, 1 bit de Paridad, 8 bits de Datos, 9600 BAUDS



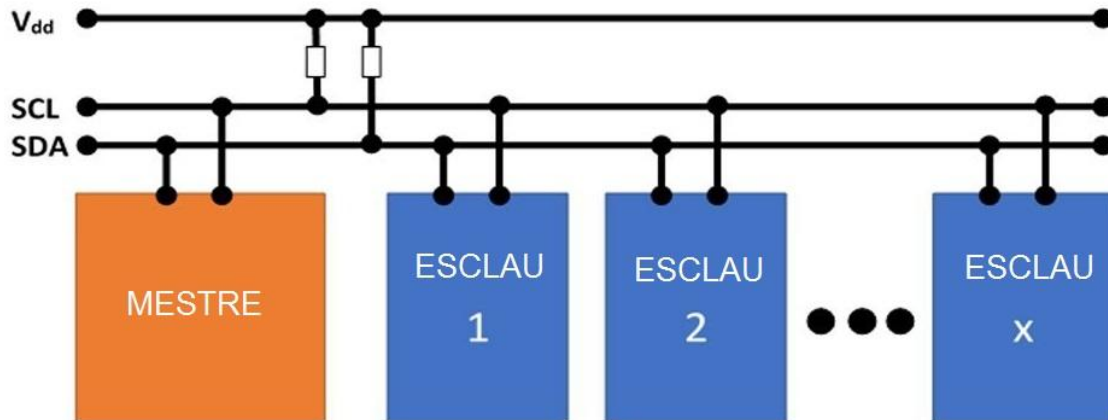
hetpro-store.com

Imatge 3: Trama del protocol de comunicació UART (Font: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>).

Com a tota comunicació sèrie, es pot observar que a part del byte d'informació, hi ha dos bits que indiquen l'inici i el final de la trama i un bit de paritat per a la detecció d'errors.

2.2.2. PROTOCOL I2C

Aquest és el protocol utilitzat en la comunicació entre les IMU i el controlador. El seu nom prové de *Inter – Integrated Circuit*. Físicament, consta únicament de 2 cables per a la transmissió de la informació. Aquests cables s'anomenen SDA i SCL i la seva funció és la de transmetre els bits d'informació i la de marcar la velocitat a la qual s'envien aquests bits, respectivament.



Imatge 4: Esquema genèric de connexions per al protocol I2C.

La topologia de comunicació, com es pot veure a la imatge de sobre, és la de mestre – esclau. Habitualment, un controlador (mestre) sol·licita l'enviament de dades als sensors (esclaus) i és aquell l'encarregat d'iniciar i finalitzar la comunicació. D'aquesta manera, només fa falta afegir una derivació a la línia si es necessita incorporar un altre sensor per a la obtenció de dades. I així fins a arribar al màxim nombre d'esclaus possible en aquesta comunicació, que és de 127.

Com es pot deduir pel fet de només constar de dos cables per a la transmissió, aquest protocol es basa en una comunicació sèrie, és a dir, s'envia bit a bit, i és síncrona, degut a la implicació d'una senyal de rellotge que comparteixen emissor i receptor.

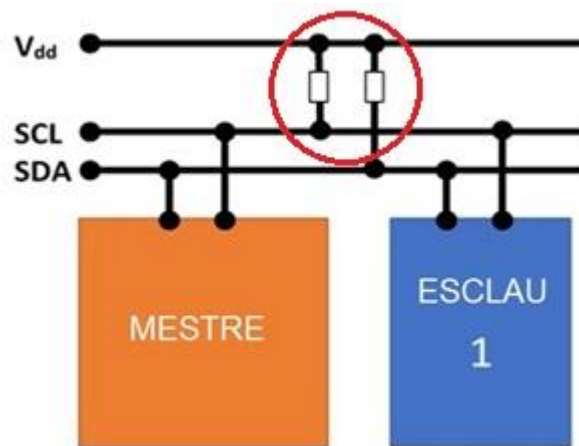
A més, a diferència del protocol anterior, la trama és molt més gran i, per tant, permet incloure-hi més informació orientada a la detecció d'errors, com pot ser el bit ACK per a la confirmació de les dades rebudes.

Protocolo I2C:



Imatge 5: Exemple d'una trama del protocol I2C (Font: <https://teslabem.com/nivel-intermedio/fundamentos-del-protocolo-i2c-aprende/>).

L'I2C és un protocol de lògica invertida, és a dir, que l'estat de repòs és un valor lògic alt i que, per tant, els bits transmesos sempre equivalen als seus negats. Per això mateix, és comú emprar resistències de *pull-up* en els busos de comunicació, tal i com es pot veure a la Imatge 6, i d'aquesta manera, assegurar que quan no hi ha informació a la línia, realment es llegeixi un 1 lògic en aquesta.



Imatge 6: Resistències de pull-up en els busos de comunicació del protocol I2C.

2.2.3. PROTOCOL BLUETOOTH

El protocol Bluetooth¹ també és un protocol de comunicació sèrie, però a diferència dels anteriors, està únicament orientat a la comunicació sense fils. Especialment dissenyat per a dispositius de baix consum, la freqüència a la qual transmet és d'uns 2,4GHz i l'abast del seu senyal oscil·la entre els 10 i els 100 metres depenent del tipus i dels repetidors que hi hagi. Aquest protocol és l'emprat en la comunicació entre l'Arduino i l'aplicació del mòbil.

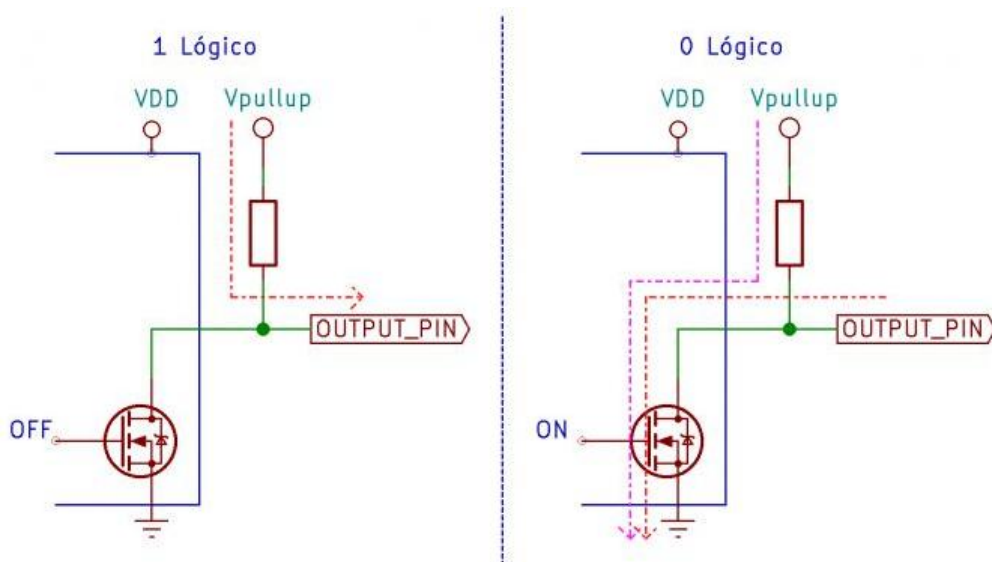
Com el canal de transmissió és l'aire, la comunicació pot ésser *Full-Dúplex*. Tret de les petites diferències esmentades amb anterioritat, el protocol és pràcticament igual que l'explicat en el PROTOCOL UART.

Tanmateix, com és un protocol sense fils, existiria la possibilitat de què es produís una connexió no desitjada entre dos dispositius. Per això, tots els dispositius Bluetooth, disposen d'un codi d'autenticació, el qual és necessari introduir quan se sol·licita la vinculació amb l'altre.

2.3. SORTIDA DE COL·LECTOR OBERT

Una sortida de col·lector obert és aquella sortida a la qual, degut a la seva configuració física, només se li pot indicar un valor. Aquest pot ésser tant un 0 com un 1 lògics, però quan es vol passar a l'estat contrari, la sortida no obté el valor en qüestió, sinó queda a l'aire (d'aquí el nom).

¹ El nom de Bluetooth prové del rei nòrdic Harald Bluetooth, personatge que aconseguí unificar les tribus nòrdiques. Per això mateix i ja que l'objectiu de la tecnologia Bluetooth és unificar la comunicació sense fils, el seu creador optà per aquest nom.

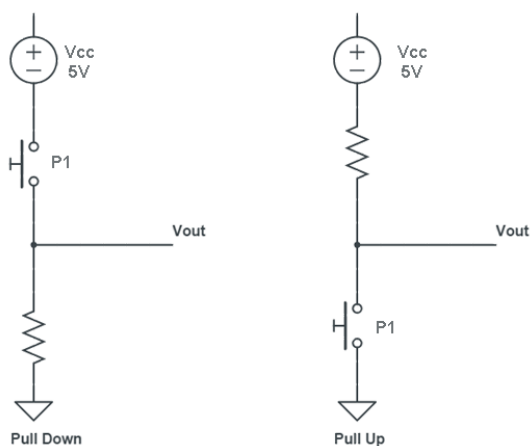


Imatge 7: Representació esquemàtica d'una sortida de col·lector obert (Font: <https://zaragozmakerspace.com/index.php/gpio-1-3-salidas-push-pull-vs-drenador-abierto/>).

En la imatge es pot apreciar un esquema bàsic de com és una sortida de col·lector obert. En aquest cas, l'únic valor que es pot imposar via el controlador és un 0. Per això mateix, es necessita el que s'anomena una resistència de *pull-up*, que, connectada a la tensió d'alimentació, fa possible que la sortida en qüestió també pugui obtenir un estat lògic alt.

2.3.1. RESISTÈNCIES DE *PULL UP* / *PULL DOWN*

Aquestes resistències reben el seu nom pel fet d'estar connectades d'una manera o d'una altra, no perquè siguin un tipus de resistències especialitzades. Aquestes resistències es connecten entre la sortida i la tensió d'alimentació (*pull-up*) o entre la sortida i la massa (*pull-down*), depenent de si interessa assegurar un nivell lògic alt o baix, respectivament, quan la sortida es troba en repòs, és a dir, quan es troba oberta.



Imatge 8: Esquema comparatiu entre una resistència de *pull-down* (esquerra) i una de *pull-up* (dreta).

2.4. ERRORS DE MESURA

Tots els sensors tenen inherents una sèrie d'errors de mesura. Aquests poden afectar el resultat final amb més o menys importància, però està bé conèixer-los tots els possibles per a saber a què hom es pot enfrontar. Els errors més freqüents són:

- **Error d'offset:** diferència que existeix entre la mesura real i la donada pel sensor en condicions invariants.
- **Error de sensibilitat:** diferència que hi ha entre el pendent ideal i el real.
- **Error de desalineació:** degut a subjeccions mecàniques inadequades o insuficients.
- **Errors d'inducció:** produïts per mesures paràsites induïdes pels eixos perpendiculars al eix del qual es pren la lectura.
- **Soroll:** error aleatori produït per interferències elèctriques o per la dependència en la resposta dinàmica del sensor.
- **Errors per efectes ambientals:** canvis en la sensibilitat produïts per la temperatura i/o per les acceleracions.
- **Error de deriva:** acumulació continuada de qualssevol dels errors anteriors produïda per l'addició reiterada de la mesura en qüestió, la qual conté els errors que es van sumant contínuament a la vegada que ho fa la lectura.

2.5. RENDIMENT ESPORTIU

El projecte tracta del desenvolupament d'una unitat de mesura inercial per a la millora del rendiment esportiu, per això mateix, a continuació es detallarà què és aquest concepte i quines variables el conformen.

Per a entendre exactament en què consisteix el rendiment esportiu, s'ha de comprendre el seu significat des dels fonaments. Així, el rendiment és la relació que hi ha entre el resultat obtingut i l'energia consumida per a aconseguir-lo; mentre que per esportiu s'entén tot allò relatiu a l'exercici corporal que es practica amb una finalitat lúdica o competitiva i seguint unes regles establertes. D'aquesta manera, es pot deduir que el terme rendiment esportiu fa referència a l'exercici físic tenint en compte la relació que hi ha entre aquest i l'energia que es consumeix per a dur-lo a terme.

Per a un bon rendiment esportiu, llavors, és necessari fixar-se en un nombre important de factors, tant físics, com psicològics o, fins i tot, externs a la pròpia persona. Aquests poden ésser des de simples qualitats de l'esportista com la salut o la seva forma física fins a factors tan aleatoris com el bon o mal ambient entre els components de l'equip o el clima.

Degut al nombre tant elevat de factors, la majoria impredecibles, fou necessari identificar una sèrie de mesures objectives en què hom es pogués basar per a

determinar aquest nivell de rendiment esportiu. Aquestes mesures s'anomenen capacitats físiques bàsiques i són unes de les característiques més objectives que existeixen per a dur a terme aquestes valoracions.

2.6. CAPACITATS FÍSQUES BÀSIQUES

Les capacitats físiques bàsiques són el conjunt d'aptituds fisiològiques fonamentals que presenta un organisme i que, essent mesurables i millorables a través de l'entrenament, representen la seva condició física.

Així, atenent a la seva descripció, les quatre destreses físiques quantificables objectivament que són la base de qualsevol altra activitat esportiva són: la força, la resistència, la velocitat i la flexibilitat. Cadascuna d'elles es basa en diferents aspectes de la forma física i, per això, a l'hora de mesurar el rendiment esportiu i/o de millorar-lo, es tenen en compte totes elles. Per tant, tot seguit, s'explicaran les quatre per a tenir una idea bàsica de en què consisteixen.

2.6.1. FORÇA

La força és la capacitat que té en compte el potencial que té algú per a generar una tensió (o contracció) muscular amb l'objectiu de vèncer una càrrega. Tanmateix, aquesta definició dona peu a moltes possibilitats, com són el fet de suportar la màxima resistència possible, però a la mínima velocitat (Força màxima); o a la inversa, utilitzant una càrrega relativament petita, tensar el múscul a la màxima velocitat possible (Força explosiva); o, per últim, suportar aquesta resistència durant un període prolongat de temps (Força resistència).

Exemples d'esports on, majoritàriament, es presenten aquestes capacitats poden ser l'halterofília, els llançaments i la natació, respectivament.

2.6.2. RESISTÈNCIA

La resistència és la capacitat per a mantenir una activitat física, de manera eficient, amb una intensitat concreta i durant un període de temps determinat. Així com la facilitat de recuperació després d'aquesta. En aquest cas també existeixen diferents tipus relacionats amb aquesta capacitat física bàsica: la resistència aeròbica, és a dir, la que s'utilitza quan el volum d'oxigen necessitat per la persona que realitza una activitat esportiva és el mateix que el volum d'oxigen aportat; i la resistència anaeròbica, capacitat en què l'organisme manté un esforç intens durant el major temps possible i sense l'aportació necessària d'oxigen.

Un exemple en què es fa servir la resistència aeròbica és el ciclisme, en canvi, un d'anaeròbica podria ésser l'apnea.

2.6.3. VELOCITAT

La velocitat consisteix en realitzar un esforç físic amb la màxima eficàcia, però en el mínim temps possible i durant un breu període per a evitar una fatiga muscular.

Aquesta també es diferencia en tres grups: la velocitat de reacció, consistent en emprar el menor temps possible en resposta a un estímul; la gestual, és a dir, realitzar un moviment concret en un temps mínim; i la de desplaçament (o cíclica), que és la capacitat de dur a terme una concatenació de gestos (repetitius o no) en el menor temps.

I com a exemples es poden trobar la reacció al tret de sortida en una cursa, el llançament de pes o una carrera, respectivament.

2.6.4. FLEXIBILITAT

La flexibilitat té a veure amb la capacitat de l'individu de fer el recorregut màxim de les articulacions. Depèn tant de la mobilitat articular (angle màxim que pot rotar una articulació) com de l'elasticitat muscular (capacitat d'estirar-se i tornar a la seva posició original d'un múscul). En aquest cas, existeixen dos tipus de flexibilitat: estàtica, en què es manté la posició durant un cert temps; dinàmica, en què s'estira i s'arronsa el múscul repetidament mantenint cadascuna de les posicions durant un breu temps. A més, es poden classificar segons si la persona és ajudada per algun factor extern com un company o si és el propi cos el que provoca la contracció o estirament del múscul en passiva o activa, respectivament.

3. ESTAT DE L'ART

3.1. PROPOSTES ACTUALS

Actualment, les IMU es troben a moltes i diverses aplicacions en diferents àmbits. Per això mateix, es poden trobar un gran nombre d'estudis i projectes relacionats amb la seva utilització en el món de l'esport o de la motricitat.

D'aquesta manera, estudiant aquests treballs realitzats amb anterioritat, ens podem fer una idea de les limitacions que té aquest sistema, però, sobretot, de les oportunitats que brinda aquesta tecnologia.

Alguns exemples d'aquestes aplicacions poden ésser des de l'estudi [1] en què són emprades per a controlar un joc d'ordinador orientat a la rehabilitació de pacients fins al [2], en què amb una de sola ubicada al cap, són capaços d'esbrinar, segons les dades rebudes, quan dos caminants parlen entre ells. I, d'un a l'altre, hi ha tot un ventall de possibilitats més o menys aproximades al nostre objectiu.

Estudiant tots aquests, s'ha après que, amb 3 IMU, la millor combinació de parts del cos on col·locar-les és el tronc, la pelvis i les cuixes segons [3], tot i que pot ser vàlid l'ús de fins i tot una única IMU segons el mateix estudi. A més, tots els treballs realitzats arriben a la conclusió, si és que no ho apliquen directament, de què per a obtenir uns bons resultats és necessari un calibratge previ a l'obtenció de les mesures. Molts d'ells, com per exemple els [4], [5] i [6], coincideixen en què per a dur a terme aquesta operació, abans de fer l'experiment s'obtingui una quantitat de mostres equivalent a un període de temps d'entre 5 i 10 segons en posicions per les que passarà l'exercici. Tanmateix, durant aquest procés, aquestes seran obtingudes de manera estàtica. A més, el [6] afegeix una sèrie de postures més dinàmiques, tot i que a un ritme més lent del que seran en l'activitat objecte d'estudi.

En el [11] s'explica molt clarament per a què s'empra el sensor de camp magnètic en una IMU d'aquestes característiques. Tot i que es podria arribar a resultats prometedors i acceptables sense aquest sensor: [6]. Com el camp magnètic terrestre (que és el que mesurarà la IMU en condicions normals de treball) és sempre perpendicular a la gravetat, sempre que es vulgui saber en quina direcció es troba aquesta segons el sistema de coordenades de la pròpia IMU, només fa falta calcular la direcció del camp magnètic i aplicar el producte vectorial per a comprovar quina de totes les acceleracions que pren el sensor en qüestió es troba en perpendicular a aquest i, llavors, es pot descartar per a evitar la deriva que provoca aquesta acceleració continuada de la gravetat.

A banda d'aquestes bases teòriques extretes de diferents treballs realitzats amb anterioritat, gràcies a aquests, també es pot observar que hi ha molts dels quals dedicats, precisament, a l'esport. Hi ha tant orientats a la detecció i diferenciació de moviments característics d'alguna activitat en concret, com centrats a l'estudi del rendiment esportiu, com és el cas que ocupa aquest projecte.

Per exemple, l'estudi [7] se centra en la detecció automàtica dels canvis de direcció que realitza una persona que realitzi una prova atlètica. Utilitzen una sola IMU ubicada a les cervicals. A més, també empen un dispositiu GPS per a detectar la ubicació de l'atleta dins del circuit emprat per a l'experiment.

També, en el [4] s'estudia el rendiment a l'hora de remar. La IMU, en aquest cas, es troba instal·lada en el propi rem i es llegeixen les dades per a detectar el moviment i l'orientació d'aquest en la pràctica del susdit esport. Segons el patró rebut de la IMU, es pot estudiar el temps i la posició mentre el rem està dins o fora de l'aigua i com entra i surt d'aquesta. Podent, així, detectar si es duu a terme amb l'angle òptim i el temps adequat.

Una altra mostra és el reconeixement automàtic de moviments específics del bàsquet. Tal i com expliquen a [12], es col·loquen 2 IMU, una a cada canell, per a estudiar els diferents tipus de moviments que es produeixen en aquest esport. Posteriorment, emprant un patró basat en una xarxa neuronal, aconseguixen una classificació automàtica d'aquests.

Aquests tres són un petit recull del que hi ha actualment, però, a més a més, hi ha que se centren en el càlcul de l'energia gastada durant la natació en estil crol [9]; que detecten la velocitat i posició d'una persona al caminar [8]; o que estudien el bateig i el llançament en el beisbol [10].

Altrament, a part de tots aquests estudis, també es poden trobar diversos productes acabats i disponibles per a la venda al públic encarats a la mesura i a la millora del rendiment esportiu. S'han seleccionat dos com a mostra d'allò que es pot trobar al mercat actualment.

3.1.1. OPTOJUMP

Com es pot veure a la Imatge 9, consta de dues barres paral·leles amb una sèrie de leds i detectors infrarojos per a detectar el temps de vol i de contacte durant l'execució de salts o curses. A més, també disposa de petites càmeres per a gravar de manera síncrona l'entrenament en qüestió.



Imatge 9: Sistema Optojump (Font: optojump.com/What-is-OptoJump.aspx).

A banda del sistema de medició, també ve amb un programa especialitzat per a l'anàlisi de les dades rebudes pels sensors i de les imatges recollides per les càmeres de vídeo.

Endemés, l'empresa Microgate, la productora d'Optojump, també en té altres ambientats, per exemple al cronometratge, a la marxa o d'altres disciplines.

3.1.2. ENCODER 6.0



Imatge 10: Encoder 6.0 (Font:
<http://sistemainercial.blogspot.com/>)

entrenament, test dinàmic, base d'atletes, etc.

Desenvolupat per l'empresa Ev-Pro des de 1994, és emprat per un nombre important d'esportistes d'elit. Des de futbolistes d'alt nivell fins a patinadors/es o entrenadors de diferents disciplines. És de fàcil transport i té una freqüència de mostreig de 1kHz.

També incorpora un programa propi format per diferents pantalles, depenent d'allò que es vulgui estudiar en aquell moment:

4. METODOLOGIA I DESENVOLUPAMENT

L'execució del projecte s'ha basat en una sèrie d'objectius a curt termini. Aquests s'anaven marcant conforme s'assolien els anteriors o sorgien nous contratemps. Però sempre tenint en compte què es volia fer i quan temps restava per a dur-ho a terme.

Per a poder comprendre amb més claredat quins han estat els passos seguits durant aquest projecte, a continuació s'exposaran quins han estat els materials emprats en l'execució d'aquest.

4.1. MATERIALS

Els materials utilitzats per a dur a terme el projecte han estat: 1 placa Arduino UNO, 2 LSM9DS1, 1 mòdul Bluetooth HC-05, 4 resistències de 10 k Ω , 1 mòbil Android i 1 ordinador amb el programa Matlab.

Els primers materials s'utilitzen per a l'obtenció de les mesures, mentre que l'ordinador només serveix per al tractament i visualització de les dades rebudes i el mòbil fa únicament de receptor d'aquestes per a posteriorment enviar-les a l'ordinador. Tot seguit, es detallaran els materials emprats.

4.1.1. PLACA ARDUINO UNO



Imatge 11: Placa Arduino UNO.

La placa Arduino UNO² és la placa per excel·lència si es volen provar prototips per un preu reduït i d'una manera simple, però adequada i adient a l'objectiu d'aquest projecte.

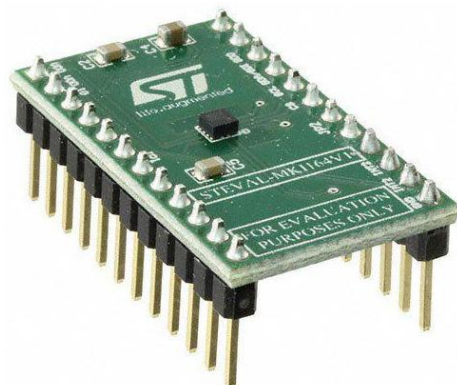
Aquesta és una placa composta per un microcontrolador programable a través de programari gratuït de la pròpia casa. A més, té un gran nombre de llibreries, també gratuïtes, desenvolupades tan per usuaris com per empreses de maquinari específic. Per totes aquestes raons és pel que es va triar la placa en qüestió. La qual consta de 13 pins digitals i 6 d'analògics, 2 d'alimentació (un de 5V i l'altre de 3,3V) i 2 pins més de comunicació via protocol I2C, els quals són necessaris per a aquest projecte degut a què el susdit és el protocol utilitzat.

A l'Arduino aniran connectats tots els altres elements, excepte el mòbil i l'ordinador, i seran alimentats per la pròpia placa.

² Full de característiques a [32].

4.1.2. LSM9DS1

El LSM9DS1 és una IMU com la que es pot veure a la Imatge 12, es troba encabida en la placa d'avaluació STEVAL-MKI159V1 específica per a crear prototips abans de dur a terme un projecte definitiu. Així que es decidí utilitzar aquesta amb aquest objectiu.



Imatge 12: Placa d'avaluació STEVAL-MKI159V1.

La placa conté la pròpia IMU i les connexions i condensadors necessaris per a realitzar les proves de cara a, com s'ha explicat, un posterior projecte definitiu.

La IMU està formada per 3 sensors diferents: un acceleròmetre, que mesura, com el seu nom indica acceleracions; un giroscopi, que dóna la velocitat de gir; i un magnetòmetre, que calcula el camp magnètic. A més, conté un termòmetre per a avaluar en quin rang de treball es troba el sensor. No s'emprarà, però, ja que les temperatures a les quals es faran les lectures sempre estaran al voltant de la temperatura ambient d'uns 25°C.

En la taula de sota, es mostren els pins utilitzats en el projecte i a quins de l'Arduino estan connectats, tanmateix, els esquemes i taules complets d'entrades i sortides de la IMU es troben a [13].

PINS LSM9DS1	PINS STEVAL-MKI159V1	PINS ARDUINO	DESCRIPCIÓ
Vdd	Vdd	3,3V	Alimentació de la placa
VddIO	VddIO	3,3V	Alimentació entrada i sortides de la placa
SDO_A/G	SDO ³	Digital 7 ó 8 ⁴	LSB de la direcció I2C de l'acceleròmetre i del giroscopi
SDO_M	SDO	Digital 7 ó 8	LSB de la direcció I2C del magnetòmetre

³ Al pin SDO de la placa STEVAL-MKI159V1 hi ha connectada una resistència de *pull-down*.

⁴ Pin digital 7 o 8 depenent de la IMU que correspongui.

4.1.3. MÒDUL BLUETOOTH HC-05

Aquest mòdul Bluetooth⁸ està pensat per a fer-lo servir amb una placa Arduino. A més de ser molt versàtil i fàcil d'utilitzar.

Consta de 6 pins: dos d'alimentació (5V i GND), dos de comunicació (Tx i Rx)⁹ i 2 de configuració (STATE i EN)¹⁰. A continuació es mostra la taula de correspondències amb els pins de l'Arduino:

PINS HC-05	PINS ARDUINO	DESCRIPCIÓ
Vcc	5V	Alimentació mòdul
Rx	Tx (Digital 11)	Bus receptor del mòdul i transmissor de l'Arduino
Tx	Rx (Digital 10)	Bus transmissor del mòdul i receptor de l'Arduino
GND	GND	Massa

Taula 2: Pins i connexions de l'HC-05 amb l'Arduino



Imatge 14: Mòdul HC-05.

Segons el full de característiques i la pròpia placa del mòdul, el pin Rx hauria de rebre una tensió màxima de 3,3V i, llavors, seria necessari aplicar un divisor de tensió al pin 11 (o Tx) de l'Arduino degut a què aquest envia un nivell lògic alt equivalent a 5V. No obstant això, segons [14], es pot fer una connexió directa sense cap inconvenient. Per això mateix, no s'utilitza cap element per a controlar el voltatge que surt de l'Arduino.

El mòdul Bluetooth funciona com un port sèrie. És a dir, és equivalent, en quant a programació, el fet d'emprar una connexió via cable USB a l'ordinador que si es fa servir el mòdul en qüestió i l'ordinador rep la informació via connexió Bluetooth. Així que aquesta part no implica res més que una correcta connexió.

4.1.4. MÒBIL ANDROID

En aquest cas, es pot fer servir qualsevol¹¹ mòbil que tingui sistema operatiu Android i en el qual s'hagi instal·lat prèviament una aplicació específicament creada i programada per a aquest projecte.

⁸ Full de característiques a [34].

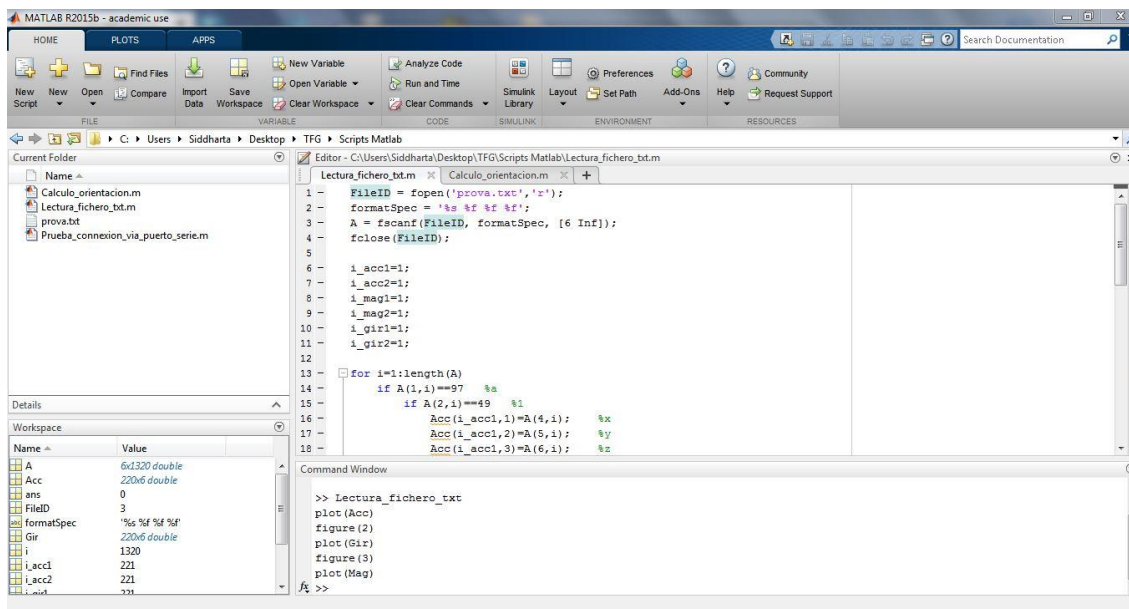
⁹ Tx: port transmissor (sortida de dades) / Rx: port receptor (entrada de dades).

¹⁰ Cap dels dos pins s'empren en aquest projecte degut a què els valors per defecte del mòdul són els adients en aquest cas.

¹¹ En el cas que ocupa, s'ha utilitzat un mòbil Samsung Galaxy J5 del 2016.

4.1.5. MATLAB

Matlab és un programa de l'empresa MathWorks que consisteix en un entorn de programació orientat a la simulació i al modelat, però també al càlcul i a operacions de processat i filtratge de senyals. Tot això, a través del llenguatge propi de Matlab, el llenguatge M o Matlab. També consta de certes llibreries, però ni aquestes ni el programari són gratuïts. Per això s'ha fet servir una llicència d'estudiant cedida per la universitat.



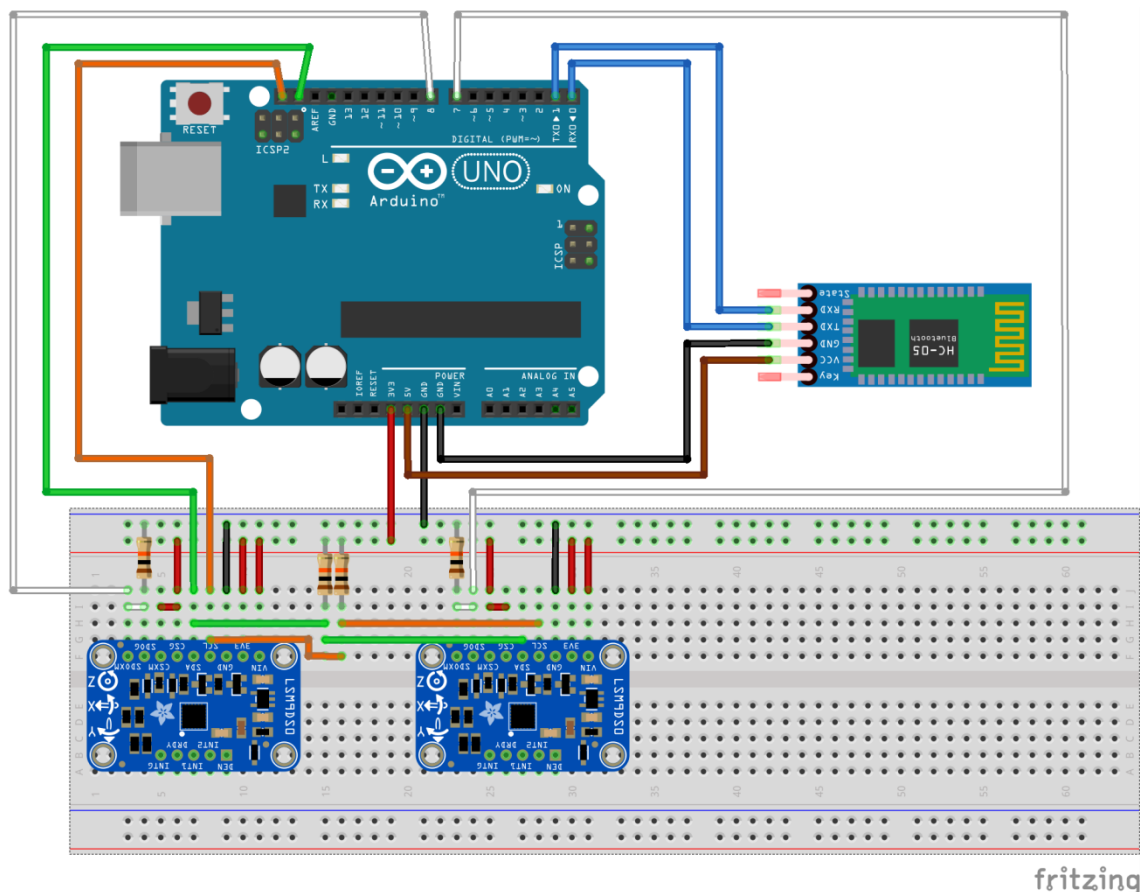
Imatge 15: Captura de pantalla del programa Matlab.

La pantalla del programa es divideix en diversos blocs, com es pot observar a la imatge anterior. Entre ells es troba el de variables (a sota a l'esquerra), on s'especifica el nom i el valor d'aquestes; la carpeta en què s'està executant el programa (a dalt a l'esquerra); la consola de programació (a baix), on es poden anar executant des d'ordres senzilles fins a programes complets; els arxius oberts amb Matlab (al centre); i el menú (a sobre).

En aquest projecte, s'emprarà per a la visualització de les dades rebudes per l'Arduino a través de les IMU, posteriorment enviades el mòbil i transmeses a l'ordinador mitjançant un fitxer de text pla.

4.2. MÈTODES

En el següent esquema es pot observar com estan connectats tots els elements entre sí:



Imatge 16: Esquema de connexions de tots els elements realitzat amb el programa Fritzing.

Com es pot veure en la imatge anterior, les IMU necessiten una alimentació de 3,3V i es comuniquen amb l'Arduino a través del PROTOCOL I2C. Per això mateix, es necessiten dues de les resistències per a què actuïn com a resistències de *pull-up* i, d'aquesta manera, assegurar un nivell lògic alt com a estat de repòs en els busos de comunicació quan no es produeix una transmissió d'informació entre ells.

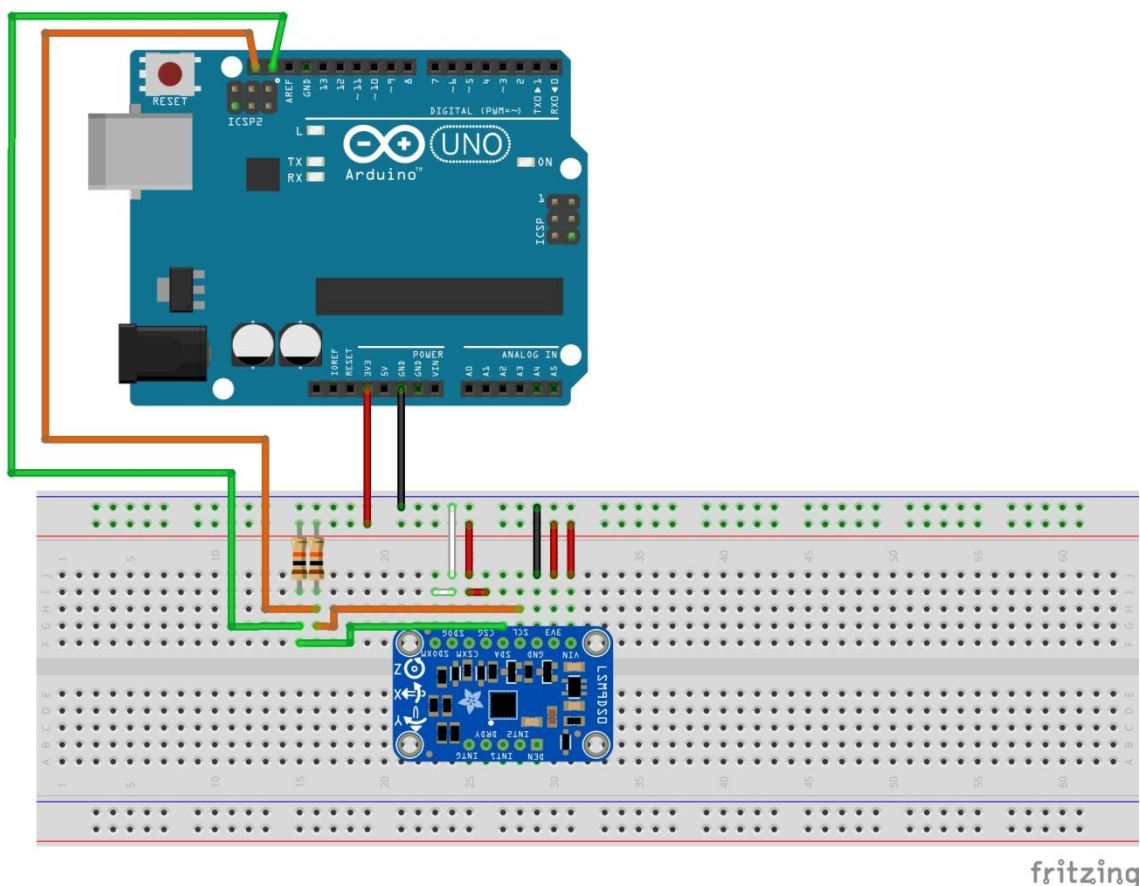
També es pot apreciar que el mòdul Bluetooth ha de rebre 5V per a un correcte funcionament¹². A més, a efectes pràctics, l'Arduino veu el susdit mòdul exactament com si fos el port sèrie i és per això que està connectat als pins corresponents (Tx i Rx).

Aquest mòdul Bluetooth és el que es comunica amb el mòbil Android via una aplicació específica per a aquesta tasca, la qual obté i emmagatzema temporalment totes les dades que rep.

Seguidament, aquest fitxer es pot anar a buscar al directori especificat i, manualment, s'envia a l'ordinador on, gràcies al programari Matlab, es processa i s'obté la informació desitjada.

¹² Està comprovat que amb una tensió d'alimentació més baixa no funciona. Aquest és un dels motius pels quals la placa controladora ha passat de ser una Adafruit Flora a una Arduino UNO.

4.2.1. ARDUINO I 1 LSM9DS1



Imatge 17: Esquema de connexions de l'Arduino amb una sola IMU realitzat amb Fritzing.

La imatge anterior mostra un esquema de com es connecta una sola IMU a l'Arduino UNO utilitzada al projecte. Com s'ha explicat amb anterioritat, el sensor s'alimenta a 3,3V i, degut a que es comunica via I2C, necessita dues resistències de *pull-up* per a assegurar un valor lògic alt quan no transmet.

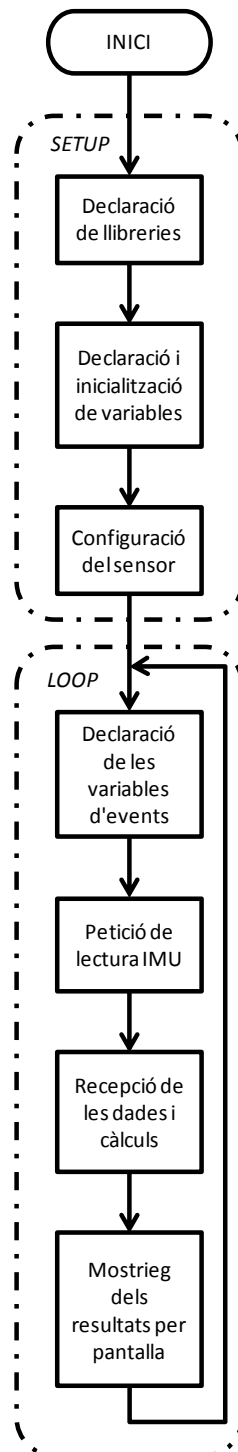
El pes de la comunicació el porta l'Arduino, degut a què està configurat com a mestre i és ell qui sol·licita la transmissió de les dades a la IMU. Tot aquest protocol es troba definit en el programari de l'Arduino mitjançant llibreries¹³ de comunicació de la pròpia companyia i llibreries personalitzades¹⁴ per a la IMU en qüestió. A més del codi creat encarant a l'assoliment de l'objectiu que ocupa.

Gràcies a aquestes llibreries, s'escriuen tots els registres necessaris per al correcte funcionament dels sensors especificant, sobretot, el rang de mesura (registres CTRL_REG6_XL, CTRL_REG2_M i CTRL_REG1_G per a l'acceleròmetre, el magnetòmetre i el giroscopi, respectivament) i, en conseqüència, la resolució.

¹³ Aquestes llibreries són: *Wire.h* i *SPI.h*

¹⁴ Les llibreries personalitzades són: *Adafruit_LSM9DS1.h* i *Adafruit_Sensor.h* i es poden trobar a [19]

Tot aquesta configuració es produeix en el bloc de programació *Setup*. Aquest bloc només s'executa una vegada, a l'inici, mentre que el segon bloc, el *Loop*, es repeteix indefinidament fins a la desconnexió de la placa. En aquest és on es troben els passos que ha d'anar executant la placa i que són els mostrats a la segona part del següent diagrama de flux:

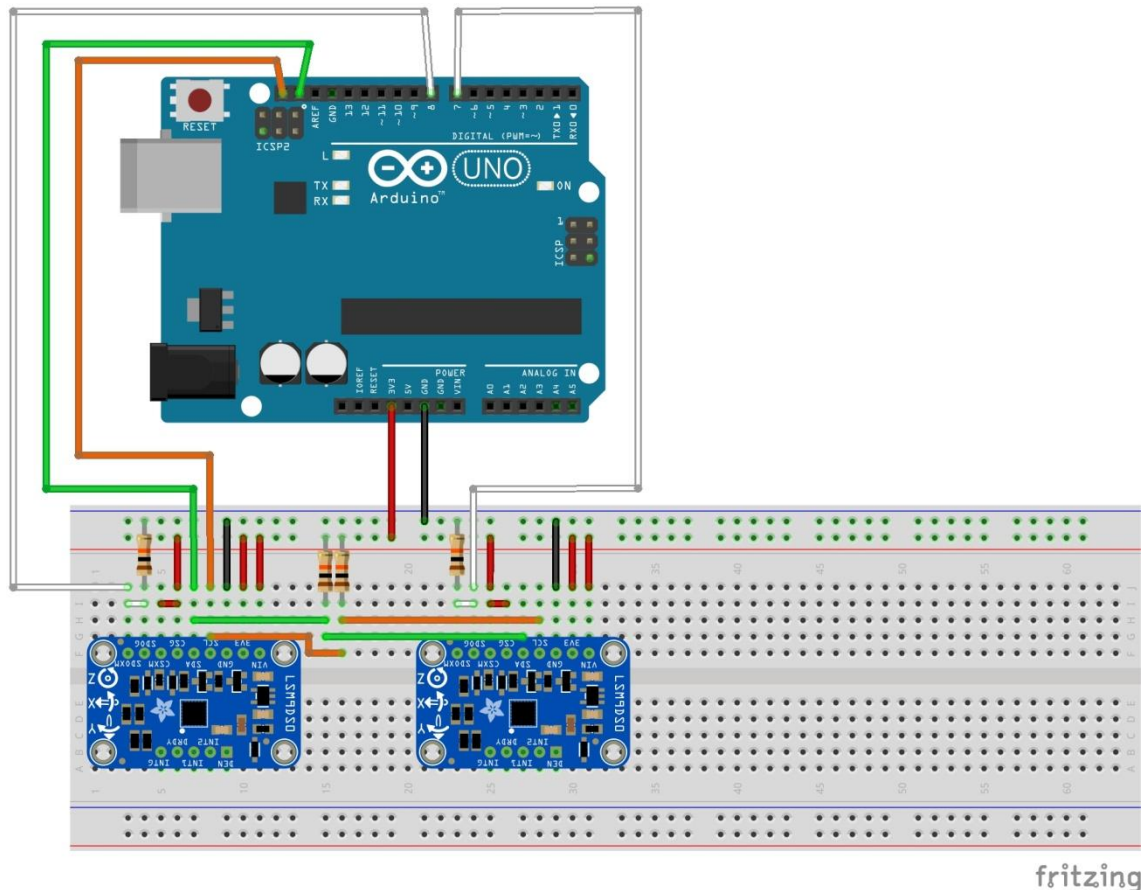


Imatge 18: Diagrama de flux del programa que controla l'Arduino quan es connecta una sola IMU.

Com es pot observar, el primer que es fa en el bloc *Loop* és sol·licitar la lectura de dades per part de l'Arduino. A continuació, aquest s'espera fins que la IMU el contesta i, llavors, rep els valors que li envia i els converteix a valors en unitats del SI¹⁵.

4.2.2. ARDUINO I 2 LSM9DS1

Tot seguit, es mostra un esquema de connexió de l'Arduino amb les 2 IMU emprades:



Imatge 19: Esquema de connexions de l'Arduino i 2 IMU realitzat amb Fritzing.

Comparant amb la Imatge 17, es pot observar que l'únic canvi significatiu en les connexions de cada placa són els pins SDO de cadascuna d'elles. En un principi, si només es fa servir una IMU, aquest pin es posa directament a massa, en canvi, en aquest cas, com és el pin que equival al LSB¹⁶ de la direcció de la IMU, s'ha de connectar a una de les sortides digitals de l'Arduino per a poder escollir quin valor se li vol donar. Tanmateix, aquest pin també s'utilitza com a bus de dades en la comunicació SPI. És per això, que quan se li imposa un 1 lògic des del controlador, funciona correctament, però, quan el que rep d'aquest és un 0, no es veu altre cosa en la connexió en qüestió que la tensió d'alimentació. Per aquest motiu, com es vol assegurar que quan el pin corresponent de l'Arduino està en repòs, el SDO rebí un nivell baix lògic, es necessita una resistència de *pull-down* connectada a aquest pin.

¹⁵ SI: Sistema Internacional

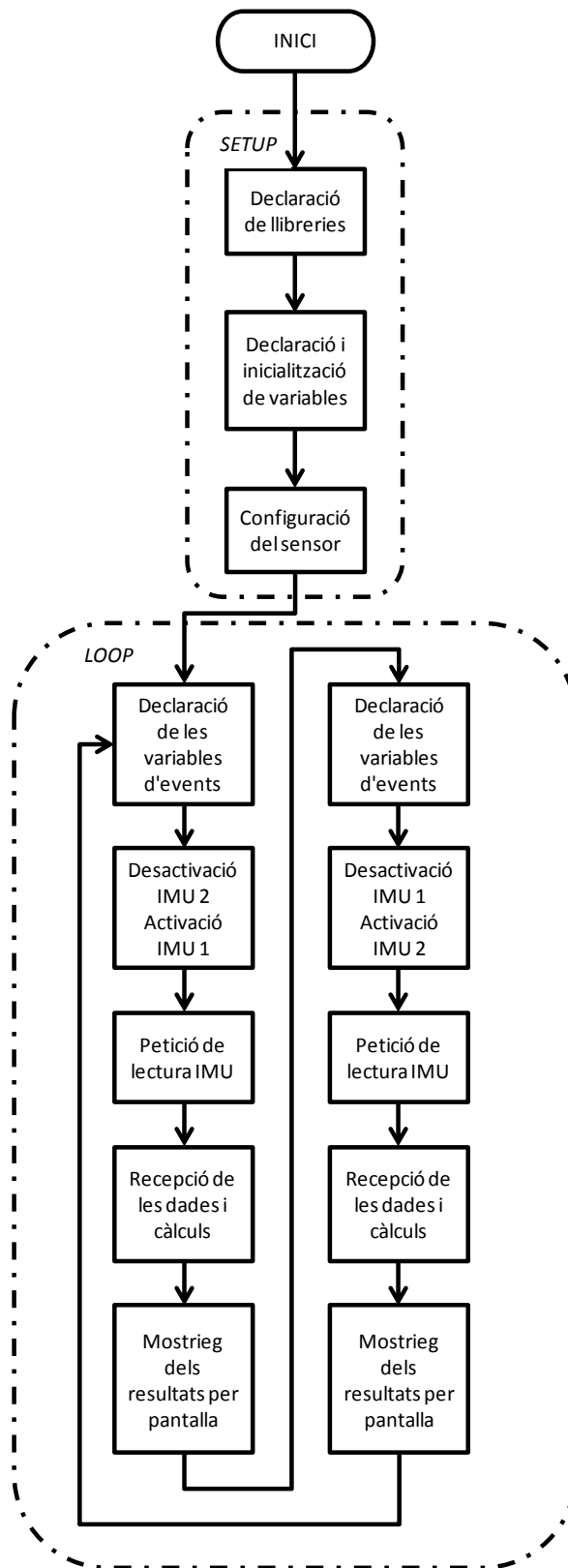
¹⁶ LSB: sigles en anglès de bit menys significatiu (Less Significant Bit)

En principi, de la direcció de les IMU només es pot canviar un sol bit¹⁷ i, per tant, només es podrien fer servir dues. Tanmateix, el mètode de lectura emprat en aquest projecte fa possible l'ús de més de dues plaques d'aquest tipus. Aquest mètode consisteix en què el controlador sempre llegirà la mateixa direcció I2C, en canvi, els sensors aniran canviant de direcció contínuament de tal manera que tots tindran la mateixa direcció (precisament, de les dues, la que no llegeix el controlador) excepte un d'ells, la direcció del qual sí que coincidirà amb la de lectura. D'aquesta manera, en la teoria¹⁸ es poden llegir tantes IMU com es vulgui tot i només tenir un sol bit per a escollir la direcció d'aquestes.

Tot i tenir només dues IMU en el projecte, s'ha volgut aplicar el mètode descrit en el paràgraf anterior com a demostració de la seva utilitat en el cas de fer-ne servir un major nombre d'aquestes. Mentre que a l'ANNEX B: CODI DEL PROGRAMA ARDUINO es pot trobar la transcripció del programa, a la pàgina següent, es pot veure el diagrama de flux en el cas de la connexió de 2 IMU:

¹⁷ Tal i com es pot veure a la pàgina 11 del full de característiques del LMS9DS1 a [33].

¹⁸ Realment, en la pràctica, com més IMU s'utilitzin, més canvis de direccions s'haurien de fer i, per tant, es produeix un major desfasament entre lectures de diferents IMU. Per això mateix, depenent de l'aplicació que se li vulgui donar sí que hi ha un cert límit de possibles sensors a connectar.

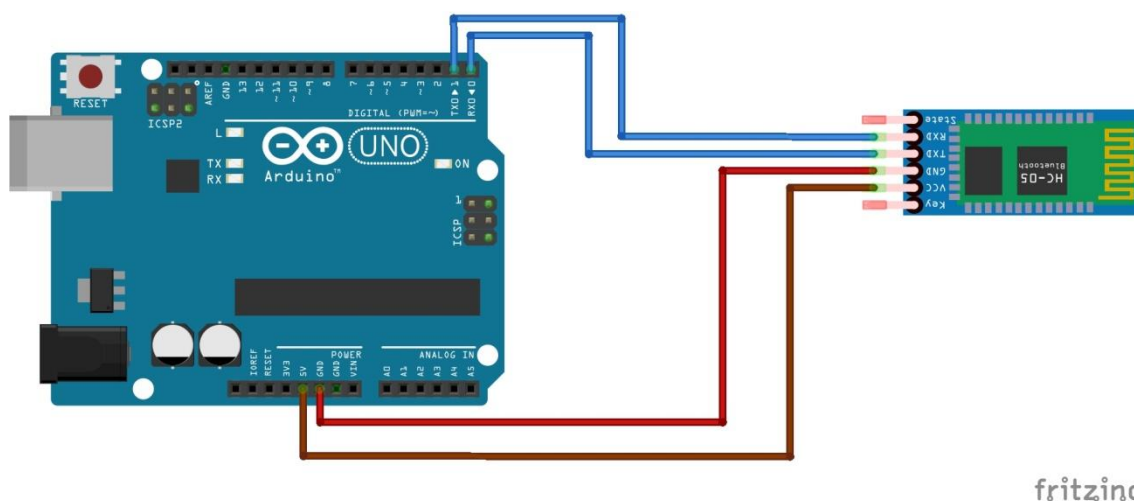


Imatge 20: Diagrama de flux del programa que controla l'Arduino quan es connecten les 2 IMU.

Com es pot observar, els canvis són mínims. L'únic que se li ha afegit són les ordres necessàries per a dur a terme aquest canvi de direccions dels sensors i, conseqüentment, una segona demanda i lectura de dades per a obtenir les de la segona IMU.

4.2.3. ARDUINO I HC-05

La Imatge 21 mostra el diagrama de connexions del mòdul Bluetooth amb el controlador emprat al projecte.



Imatge 21: Esquema de connexions del mòdul HC-05 amb l'Arduino realitzat amb Fritzing.

El mòdul Bluetooth HC-05 s'ha d'alimentar a 5V, mentre que el pin Rx, a 3,3V. Tanmateix, com ja s'ha argumentat amb anterioritat a l'apartat MÒDUL BLUETOOTH HC-05, es troba connectat al pin Tx de l'Arduino sense cap tipus de divisor de tensió.

Degut a què el HC-05 està ideat per al seu ús amb Arduino i a què ja dur tota la lògica, xips i elements necessaris integrats en el propi mòdul, només es necessita connectar-lo a la placa tal i com s'especifica a la Imatge 21 per a què funcioni correctament. A l'hora de la programació, amb la mateixa instrucció¹⁹ que s'empra per a enviar informació via el port sèrie de l'Arduino, es fa transmetre les dades mitjançant la comunicació Bluetooth.

Aquesta comunicació es realitza a una velocitat de 38400 bits per segon, enlloc de a la predefinida velocitat de 9600. Això és degut a què interessa obtenir una velocitat de transmissió prou ràpida com per a què en moviments ràpids hi hagi una bona lectura. Així, si s'hagués deixat a la velocitat de transmissió per defecte només s'aconseguia un període d'uns 130ms entre mostres²⁰. Que, tot i que el temps sembli gran, és conseqüència de què a cada període es prenen 18 lectures (2 IMU amb 3 sensors cadascuna i, a la vegada, 3 eixos cadascun dels sensors). De totes maneres, augmentant aquesta velocitat fins als 38400 bits per segon esmentats al principi d'aquest paràgraf, s'ha aconseguit reduir aquest període fins als 34ms, per a les mateixes 18 lectures. En canvi, si la transmissió es duia a terme més ràpidament, el

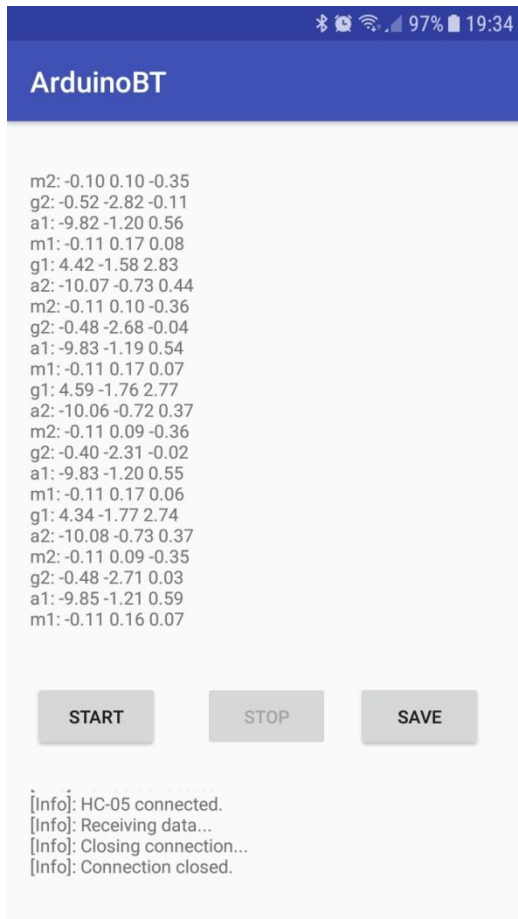
¹⁹ Instrucció `print()` o `println()`.

²⁰ El període es refereix al temps transcorregut entre dues mostres seguides, de la mateixa magnitud, del mateix eix i del mateix sensor. Per exemple, el temps que es triga a rebre dues lectures seguides d'acceleració en l'eix X del sensor A.

temps entre mostres no es reduïa i, a més, es donaven casos en què es rebien valors repetits. Per això mateix es decidí emprar la velocitat de 38400 bauds²¹.

En el cas d'aquest projecte, el mòdul es comunica a una aplicació en un telèfon mòbil Android perquè una connexió directa amb l'ordinador ha resultat impossible, degut a problemes de compatibilitat del Windows amb el controlador del receptor Bluetooth USB.

4.2.4. APLICACIÓ MÒBIL



L'aplicació consisteix en tres botons que serveixen per a posar en marxa la lectura de les dades (botó START), per a aturar-la (botó STOP) i per a guardar les dades emmagatzemades en un fitxer de text pla un cop parada la lectura (botó SAVE). A més, té dos quadres de text, el primer, a sobre dels botons, mostra les últimes dades llegides, mentre que el segon, a sota, és emprat com a registre de les accions que es duen a terme i dels possibles errors o avisos ocorreguts.

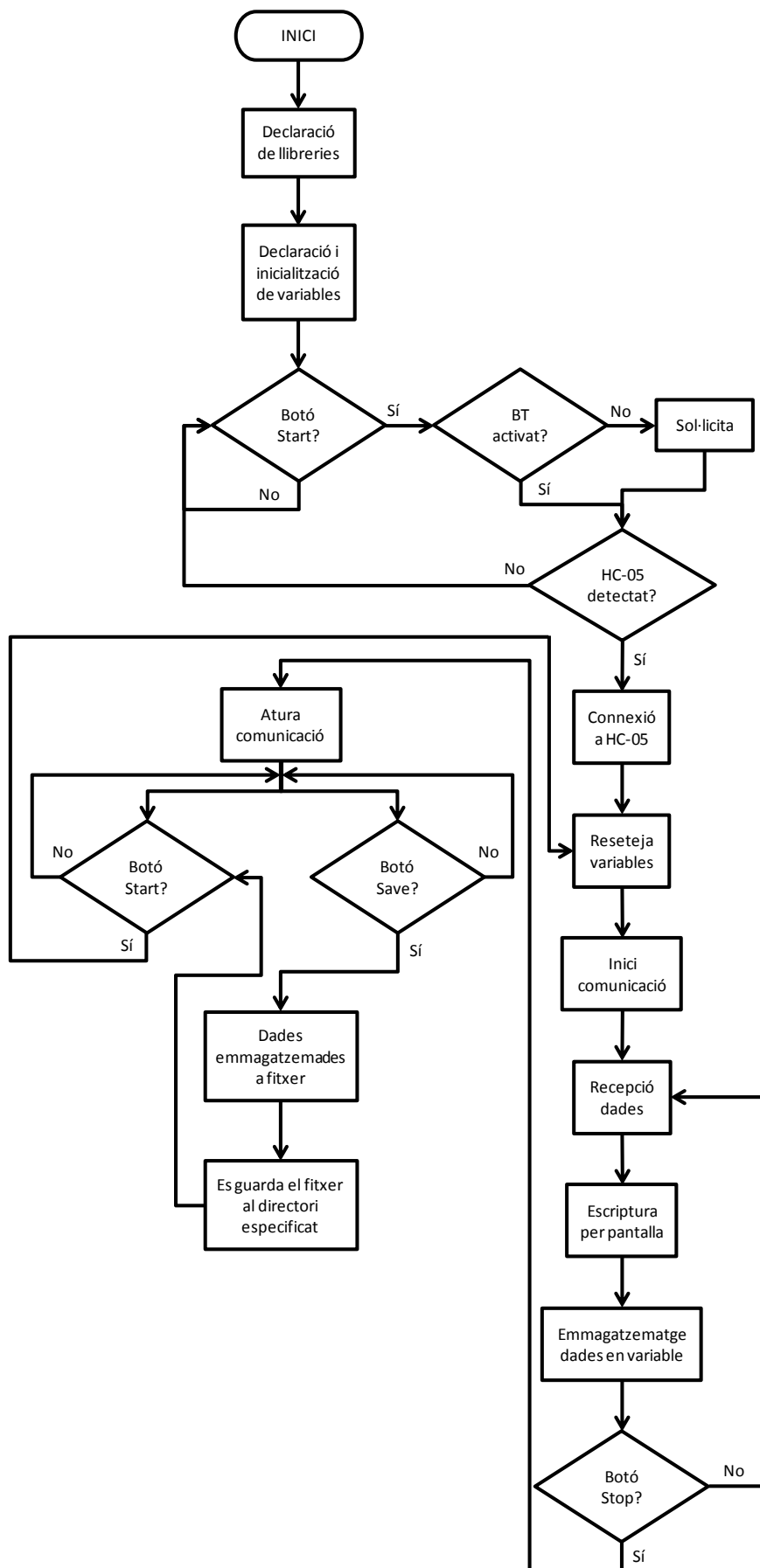
A continuació, es pot veure un diagrama de flux²² explicant el funcionament de l'aplicació²³:

Imatge 22: Captura de pantalla de l'aplicació.

²¹ 1 baud = 1 bit per segon

²² En la Imatge 23 no es mostra quan es duen a terme els registres al quadre de text corresponent per a no complicar-lo en excés. Tanmateix, els més importants estan explicats als paràgrafs a continuació del diagrama en qüestió.

²³ El codi de l'aplicació es troba a l'ANNEX C: CODI DE L'APLICACIÓ.



Imatge 23: Diagrama de flux de l'aplicació mòbil.

Quan s'engega l'aplicació, com es pot deduir del diagrama anterior, només està actiu el botó START. Un cop es polsa aquest, comprova si l'opció de Bluetooth del telèfon es troba activada i, si no és així, demana a l'usuari què és el que vol fer.

Un cop activada la característica en qüestió, l'aplicació intenta connectar-se automàticament al dispositiu HC-05 emprat en aquest projecte. Si passat un cert temps no ho aconsegueix, mostra un missatge d'error i reactiva el botó START per a què l'usuari pugui tornar a provar de dur a terme la connexió.

En cas contrari, comença la comunicació Bluetooth entre el mòbil i el mòdul. Conforme es van rebent les noves dades, aquestes apareixen per pantalla i, alhora, es van guardant a una variable de tipus *String* o cadena de caràcters. A més, per a evitar una saturació de la memòria del telèfon, cada cert nombre de línies, s'esborren del quadre de text les més antigues.

Quan es vol parar la comunicació, hom ha de prémer el botó STOP. El mòbil i l'HC-05 queden llavors desvinculats i l'usuari pot decidir, aleshores, si tornar a començar la recopilació de dades prement el botó START una altra vegada. Tanmateix, polsant sobre el botó SAVE, té l'oportunitat de guardar en un fitxer de text pla tota la informació rebuda en un directori preestablert²⁴ del dispositiu.

Una vegada guardat l'arxiu, segueix existint la possibilitat de reiniciar el procés o de revisar l'històric de registres, en el quadre de text corresponent, si es té la necessitat. Ja que la informació mostrada en aquest no es perd fins que no es tanca l'aplicació.

4.2.5. MATLAB

Com ja s'ha esmentat amb anterioritat, no ha estat possible transmetre les dades directament de l'Arduino a l'ordinador. Així, el fitxer que s'obté a través de l'aplicació mòbil s'ha de traslladar manualment²⁵ fins a l'ordinador, on, a continuació, es durà a terme el tractament adequat del senyal i es mostrarà gràficament gràcies al programa Matlab²⁶.

Mitjançant les instruccions *fopen* i *fscanf*, com es pot veure a l'ANNEX D: CODI MATLAB, s'obtenen les dades del fitxer en qüestió. Com es pot veure al diagrama de flux de la Imatge 24, aquestes es guarden en una variable de tipus *float* que posteriorment es desglossa en 3 matrius de dimensions²⁷ Nx6 corresponents a

²⁴ El directori es troba a:

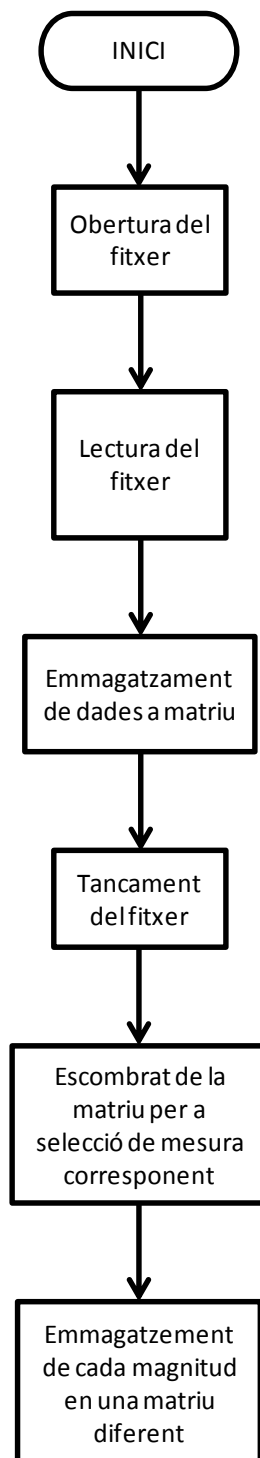
/storage/emulated/0/Android/data/com.example.siddharta.arduino/files/Documents/prova.txt

²⁵ En un posterior projecte, possible continuació d'aquest, es pot implementar un enviament automàtic de l'arxiu en qüestió des del mòbil fins a l'ordinador. O, fins i tot, utilitzar altres protocols de comunicació entre l'Arduino i l'ordinador que no generin les dificultats de l'emprat en aquest projecte.

²⁶ El procés descrit breument en aquest paràgraf, s'explica amb més detall a l'ANNEX A: PASOS A SEGUIR PER A RECOPILAR I VISUALITZAR LES DADES EN EL PROGRAMA MATLAB.

²⁷ N equival al nombre de mostres obtingudes de cada sensor.

cadascuna de les magnituds mesurades pels sensors. És a dir, en una mateixa matriu hi ha les mesures dels eixos X, Y i Z dels dos sensors, d'aquí les 6 columnes.



Imatge 24: Diagrama de flux del programa de Matlab.

Seguidament, aquestes variables s'haurien de tractar per a eliminar el soroll i altres possibles errors de mesura, com la deriva. Després, es mostren els valors rebuts en 3 gràfics diferents, un per magnitud, amb l'eix d'ordenades corresponent al número de mostra. Tanmateix, a continuació, sabent el període de mostreig, que correspon a 34ms, és fàcil fer el càlcul necessari per a fer els gràfics en funció del temps i no del

número de mostres. A més, també es podria obtenir el temps tant a partir de l'Arduino com a partir de l'aplicació si fossin necessaris uns valors més precisos en cas d'algun possible error. Tanmateix, el període esmentat ha estat calculat amb exactitud, concretament amb el temps mostrat al port sèrie de l'Arduino.

Una possible continuació del projecte podria ésser calcular l'orientació de la IMU a partir de les mesures obtingudes amb els sensors. I, d'aquesta manera, obtenir uns valors més comprensibles i més visuals.

4.3. DESENVOLUPAMENT

El desenvolupament de les tasques dutes a terme durant el projecte, com ja s'ha explicat abans, es va desglossar en un seguit d'objectius seguint un pla semblant al mostrat a la Imatge 1.

Primer de tot, es va començar provant cadascuna de les IMU per separat connectant-les a la primera placa que es preveia fer servir, una Arduino Adafruit Flora. D'aquesta manera, es comprovava el seu funcionament, tant en l'aspecte de l'aprenentatge i per a poder entendre les lectures a la perfecció com pel fet de corroborar que no estiguessin malmeses.

En segon lloc, es van fer les proves pertinents amb el mòdul Bluetooth. Tanmateix, la placa inicial no donava la suficient potència per a què el mòdul funcionés i, degut a aquest fet, es va haver de canviar de placa.

Tercerament, ens vam adonar que les IMU triades inicialment no eren adequades per al què es volia fer, ja que totes tenien imposada per *hardware* la mateixa direcció en el bus I2C i, llavors, el controlador no podia distingir de quin sensor rebia la informació. Així que es va iniciar una recerca de IMU de 9 DOF²⁸ per a aconseguir-ne unes adequades a les quals se les pogués canviar la direcció segons el que interessés.

Un cop aconseguides les noves IMU i la nova placa Arduino es va tornar a començar el procés de provatura de tots els elements per separat. Aconseguint, finalment, que anessin funcionant, un per un, tots els aparells.

Tret de les proves del mòdul Bluetooth, en les que vaig utilitzar diferents aplicacions públiques i gratuïtes d'Internet per al mòbil, per a fer la resta de comprovacions utilitzí l'Arduino connectat directament a l'ordinador a través del port sèrie.

La següent prova fou la connexió de les dues IMU a la vegada i la verificació de què el controlador pogués diferenciar entre ambdues.

Fent les proves de canvi de direccions, vaig adonar-me'n que el pin de la IMU és de col·lector obert. Per tant, per a assegurar el nivell lògic baix es necessiten unes altres dues resistències com a *pull-down*.

²⁸ DOF: sigles en anglès de graus de llibertat (Degrees Of Freedom).

Un cop operatiu tot a través del port sèrie, ho proví a través del mòdul Bluetooth després de programar l'aplicació que llegiria les dades rebudes²⁹.

Finalment, una vegada finalitzada l'aplicació i comprovat el seu correcte funcionament, es va crear l'*script* pertinent a Matlab per a llegir el document creat per aquella i, d'aquesta manera, obtenir les dades per al seu posterior tractament a través d'aquest mateix programa mitjançant el codi de l'ANNEX D: CODI MATLAB. Aquest codi consisteix en una part de lectura de les dades i una altra de mostreig d'aquestes en uns gràfics. Així però, per a una possible continuació del projecte dirigida al càlcul de l'orientació, encara faltaria afegir un processament i filtratge de les dades més acurat utilitzant qualsevol dels filtres digitals habituals com poden ser el filtre Kalman, el Madgwick o el complementari.

²⁹ Primerament, s'havien de rebre les dades directament a l'ordinador, però degut als problemes esmentats anteriorment de compatibilitat amb el mòdul Bluetooth, el *driver* del Windows i altres contratemps es decidí fer-ho a través d'una aplicació mòbil.

5. RESULTATS

El prototip objecte d'aquest projecte s'ha posat a prova en dues situacions reals diferents. Ambdues tenen a veure amb l'entrenament de la capacitat física bàsica de la FORÇA. Els dos exercicis realitzats han estat l'anomenat *press banca* i l'esquat. En cadascuna d'elles s'han mesurat les tres magnituds que es poden prendre amb les IMU utilitzades, però, degut a què l'objectiu d'aquestes proves és trobar la gràfica força – temps i la primera és donada pel pes amb què es treballa, només és necessari el fet de trobar el temps en què s'ha dut a terme cada repetició. Així, es farà servir la gràfica en què més definits estiguin els períodes.

5.1. PRESS BANCA

Aquest exercici consisteix en, mentre hom es troba estirat en un banc, aixecar i baixar una barra amb peses als extrems repetides vegades. Tal i com es pot observar en la Imatge 25.

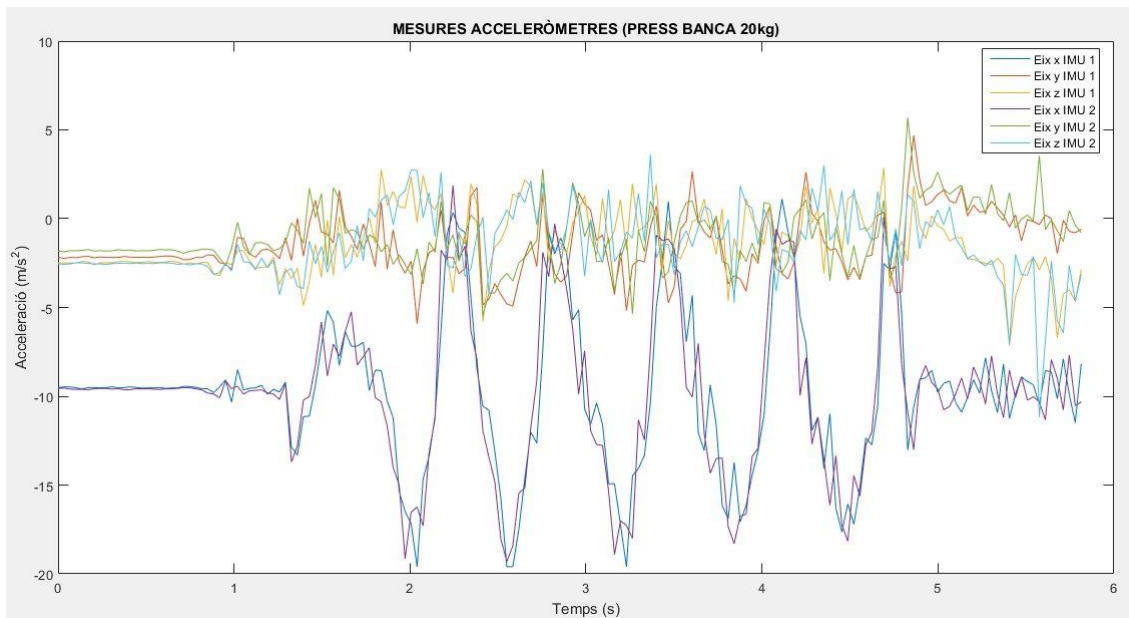


Imatge 25: Exercici de *press banca* i eixos del sensor.

Aquesta prova ha estat realitzada en tres sèries de cinc repeticions cadascuna. A més, entre una i altra sèrie, s'ha augmentat el pes a aixecar en 20kg. Així, s'ha començat fent l'exercici amb la barra sola, la segona vegada, s'ha dut a terme amb 20kg de pes i, per últim, amb 40kg.

A continuació s'aniran mostrant les gràfiques de l'acceleròmetre, del giroscopi i del magnetòmetre de la segona sèrie³⁰ (20kg).

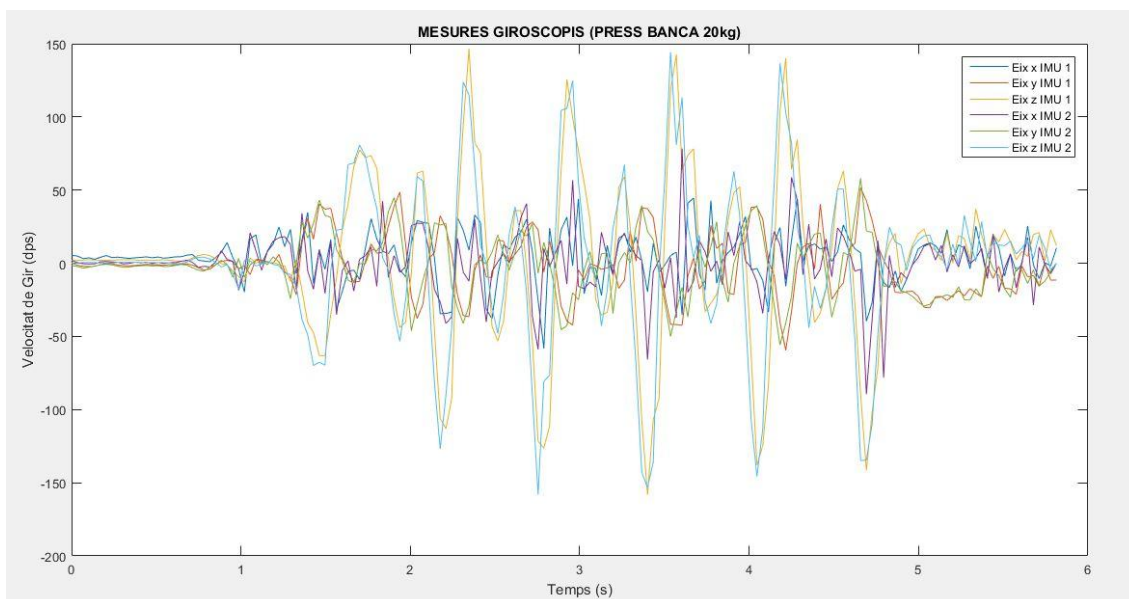
³⁰ Les gràfiques de la primera (0kg) i de la tercera (40kg) es troben a l'ANNEX E: GRÀFICS EXERCICI DE PRESS BANCA (SÈRIES DE 0KG I 40KG), degut a què, conceptualment, les de les tres sèries són iguals i, per tant, no s'ha considerat oportú introduir-les totes elles al cos de la memòria.



Imatge 26: Gràfic de les mesures dels acceleròmetres en l'exercici de *press banca* (20kg).

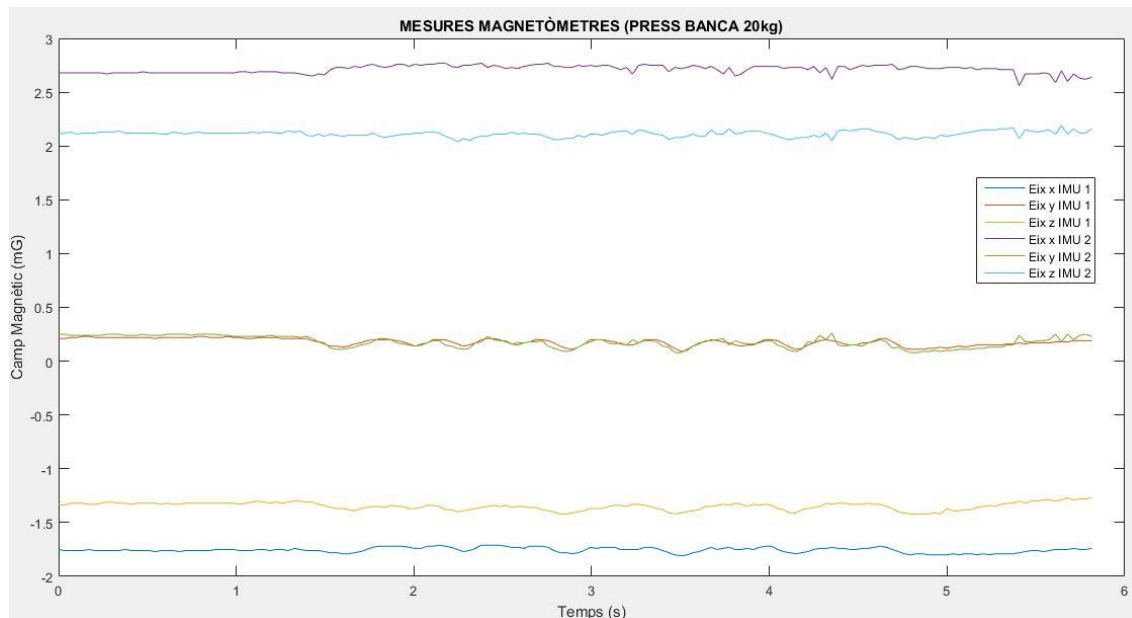
Es pot observar que el gràfic d'acceleracions (Imatge 26), durant el primer segon, temps en què encara no s'havia començat l'exercici, mostra que hi ha dues mesures, les dels eixos x, que tenen un valor aproximat de $-9,5 \text{ m/s}^2$. Això és degut a la posició en què s'ha col·locat el prototip: al canell i amb l'eix x apuntant cap a munt, com es pot apreciar a la Imatge 25.

Tanmateix, com no estava completament alineat, aquesta mesura no és exactament la de la gravetat, i, per això mateix, als altres eixos també es pot observar que no es troben a 0.



Imatge 27: Gràfic de les mesures dels giroscopis en l'exercici de *press banca* (20kg).

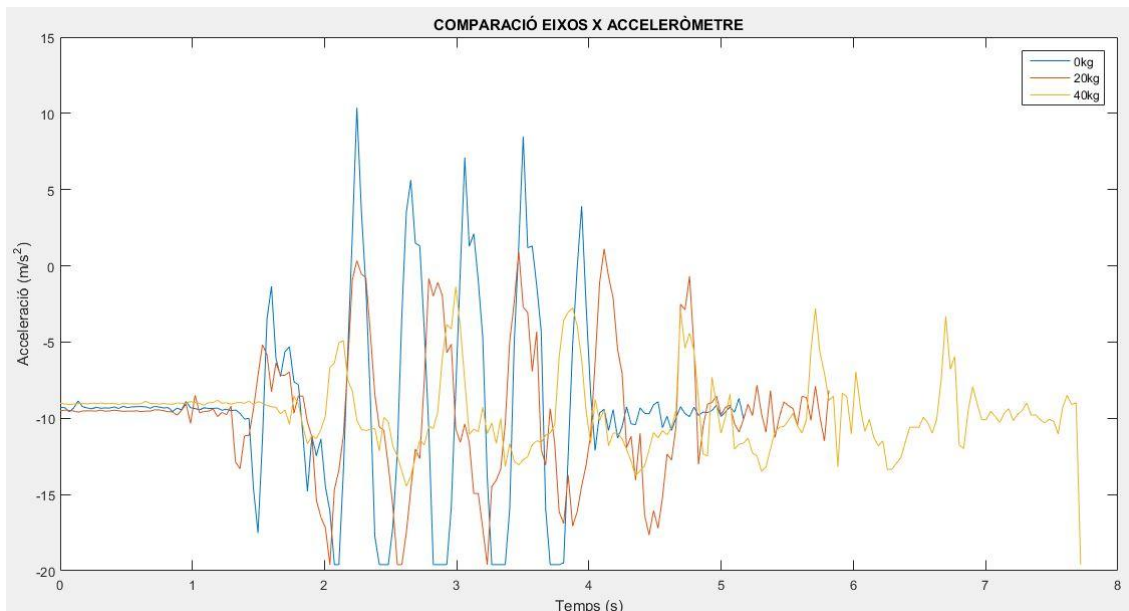
En el giroscopi (Imatge 27), en canvi, es pot observar que, evidentment, durant aquest primer segon, sí que les mesures es corresponen millor amb el que cabria esperar. Ja que aquest sensor mesura velocitat de gir i no l'angle.



Imatge 28: Gràfic de les mesures dels magnetòmetres en l'exercici de *press banca* (20kg).

Respecte al magnetòmetre (Imatge 28), s'esperaria que les mesures de l'eix x, fossin de, pràcticament, 0G, ja que el camp magnètic de la Terra és perpendicular a la seva força de gravetat. En canvi, les d'aquest eix són, precisament, les més grans, en valor absolut, que es poden observar a la gràfica corresponent. Aquest fet, que en veritat és prou habitual, és degut a què l'exercici s'ha realitzat en un recinte tancat i a prop d'aparells metàl·lics. Tot això implica una distorsió del camp magnètic suficientment important per a què les mesures amb aquest sensor siguin totalment errònies si hom es basa en la premissa esmentada unes línies més amunt. A més, com la distorsió més gran la deuria provocar la pròpia barra, ja que era l'element metàl·lic més proper al sensor, i aquella es movia solidàriament amb aquest, no s'aprecia, gairebé cap canvi en les mesures en tot l'exercici. Així que no tindrem en compte el magnetòmetre per a comptabilitzar els temps de les repeticions.

Pel que fa a la resta de mesures, els cicles es poden veure millor en les dades de l'eix x de qualsevol dels dos sensors, així, s'agafarà un d'ells i es compararà amb les altres dues sèries, per a poder discernir les diferències entre una i altra.



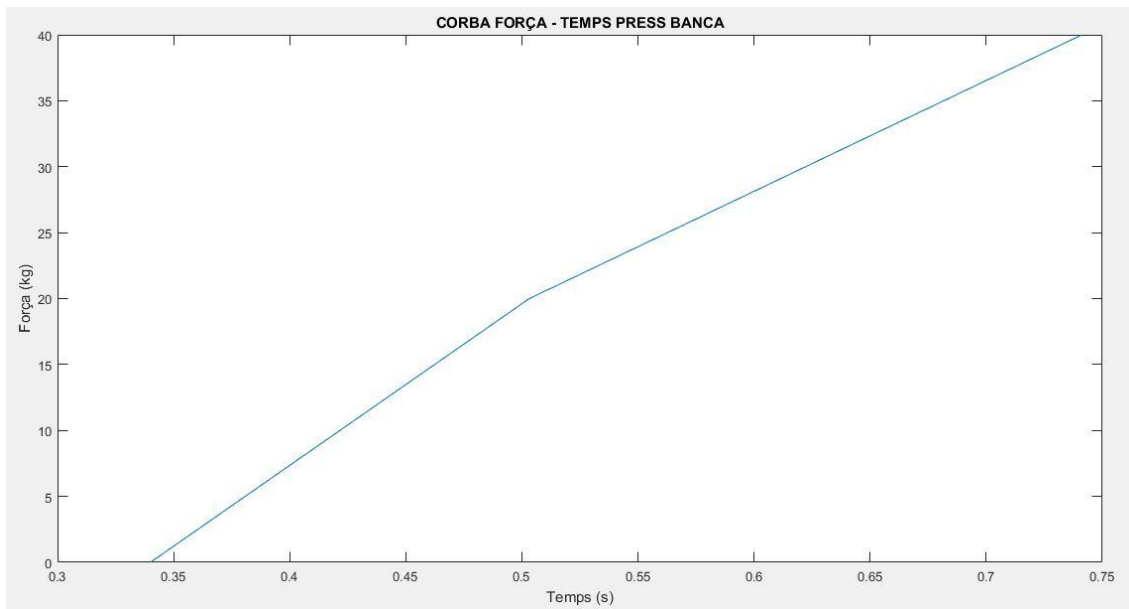
Imatge 29: Gràfic comparatiu entre les acceleracions de l'eix x en les 3 sèries de *press banca*.

Primer de tot, es farà saber, així com el primer segon és de preparació, de l'instant 1s al 2s, és el temps pertinent a agafar la barra i col·locar-la en posició per a començar l'exercici. Per tant, fins llavors, no comença realment la prova. Tanmateix, degut al pes creixent, en la sèrie de 40kg, la prova no s'inicia fins passats els 2,5s. A més, en la primera sèrie, es pot observar que s'ha saturat el sensor perquè se li havia indicat el rang més baix, el de $\pm 2g$.

Tot i això, com la mesura que interessa és el temps entre pics, ni el temps inicial ni que se satori, tal i com ho fa en aquest cas, no és greu. Ja en el gràfic anterior, es pot veure que el període augmenta conforme ho fa el pes, fet que és lògic ja que si creix la força que s'ha de fer, el temps també ho ha de fer si la potència muscular es manté constant³¹.

El període mitjà de cada sèrie es pot veure representat en el gràfic que hi ha a continuació.

³¹ La potència es manté pràcticament constant degut a què l'exercici està pensat per a fer-lo a màxima potència i, se suposa que, lògicament, aquest no pot augmentar entre una sèrie i una altra.



Imatge 30: Gràfica força – temps de l'exercici de *press banca*.

I en aquest gràfic es pot observar com cada cop costa més temps fer aquest esforç i com la proporció entre l'augment de força i el de temps no és lineal. Tal i com la fórmula següent demostra:

$$\frac{P}{t} = F \cdot a$$

On:

- P és la potència en $[W] = \frac{[N] \cdot [m]}{[s]}$
- t és el temps en [s]
- F és la força en [N]
- a és l'acceleració en $[m/s^2]$

5.2. ESQUAT

Com es pot veure a la Imatge 31, l'esquat consisteix en, estant dempeus, flexionar repetidament els genolls baixant i pujant el tors de la manera més recta possible i subjectant una barra amb peses per sobre de les espatlles.



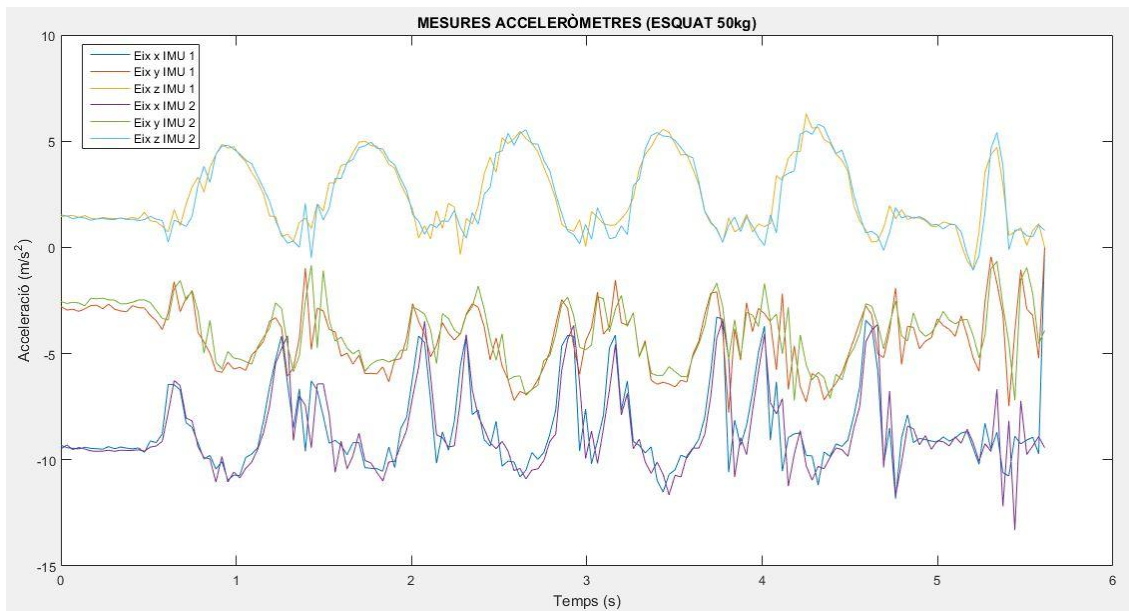
Imatge 31: Exercici d'esquat i eixos del sensor.

La imatge de sobre mostra com el sensor ha estat col·locat a la cintura, al costat esquerra de l'esportista i, sobre impressionades, es poden observar els tres vectors que indiquen els eixos x, y i z de les IMU.

En aquest cas, també s'han dut a terme tres sèries de cinc repeticions cadascuna, augmentant, igualment, en 20kg cada sèrie. Tanmateix, en l'exercici en qüestió, s'ha començat amb un pes de 30kg i s'ha passat per un de 50kg i un de 70kg com a última sèrie.

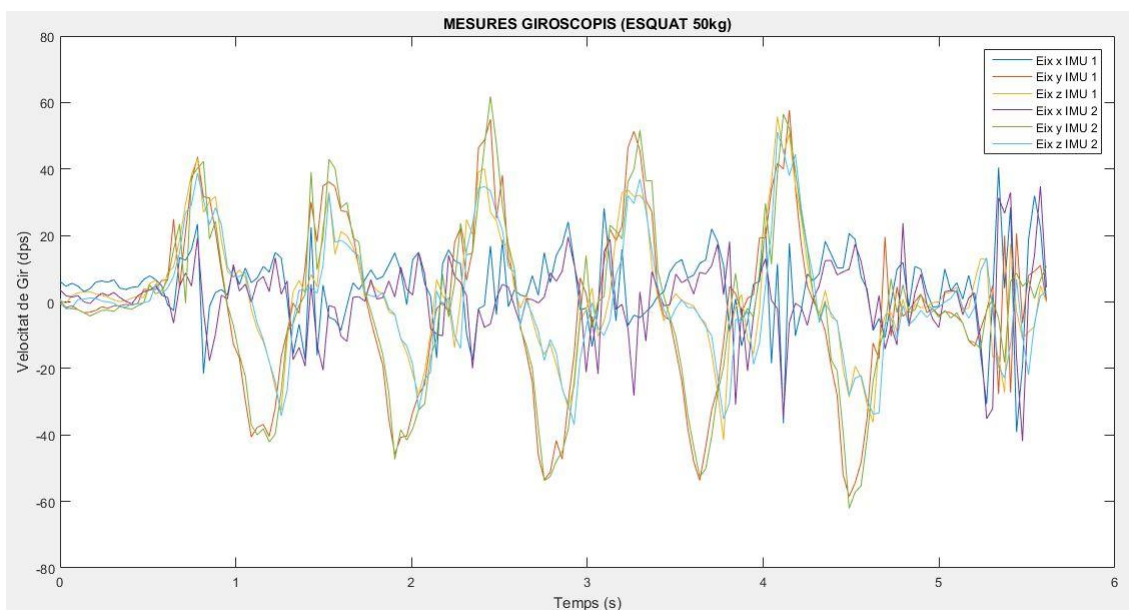
A continuació, com s'ha fet a l'apartat anterior, es mostraran tres gràfics relatius a l'acceleració, la velocitat de gir i el camp magnètic d'una de les sèries, la de 50kg³². Ja que, com passa en l'entrenament de *press banca*, els altres sis gràfics són conceptualment iguals.

³² Com en l'exercici de *press banca*, els altres sis gràfics corresponents a la primera i tercer sèries es troben a l'ANNEX F: GRÀFICS EXERCICI D'ESQUAT (SÈRIES DE 30KG I 70KG).



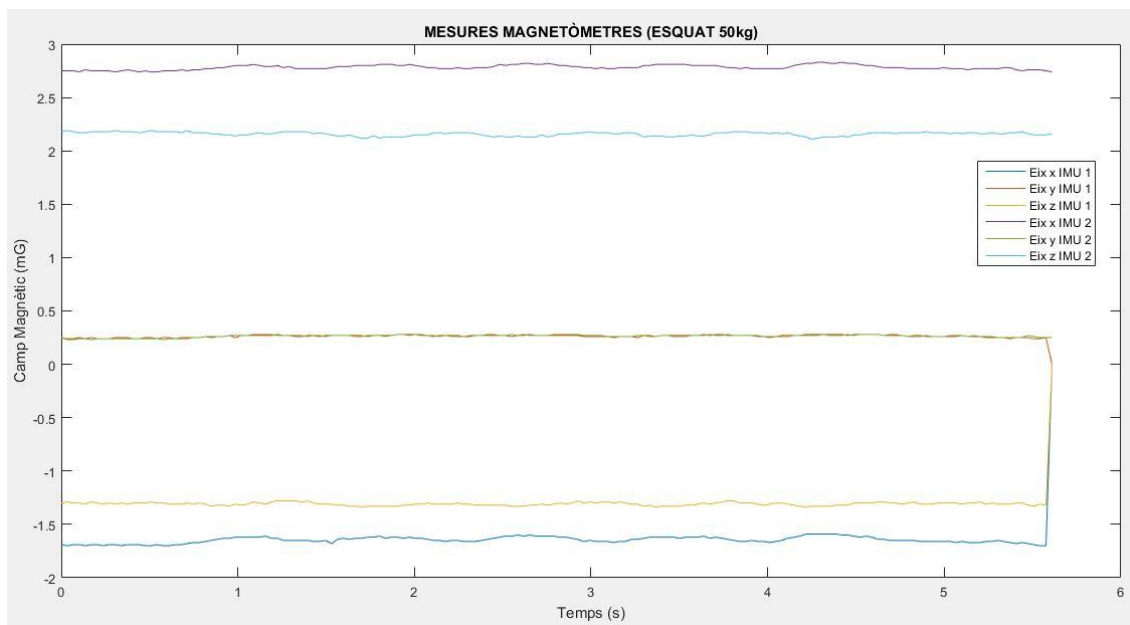
Imatge 32: Gràfic de les mesures dels acceleròmetres en l'exercici d'esquat (50kg).

En aquest gràfic es poden veure les components de les acceleracions en els tres eixos de cadascun dels sensors. Com es pot apreciar, aquí no només es veu un clar canvi en els eixos x, sinó que també es poden observar variacions importants en els altres dos eixos. En el cas de l'y, és clar que com mai es baixa el tronc completament vertical, la lleugera inclinació d'aquest, provoca les corresponents acceleracions en aquest eix. Pel que respecta al de la z, podria estar succeint per dos motius: el primer és que el prototip es trobés desviat cap a endavant i, llavors, l'acceleració resultant de la inclinació del tors es veïés reflectida tant en l'eix y com en el z; o, el segon, podria ésser, que el practicant de l'exercici, en cada esquat, s'inclinés cap al costat esquerre involuntàriament.



Imatge 33: Gràfic de les mesures dels giroscopis en l'exercici d'esquat (50kg).

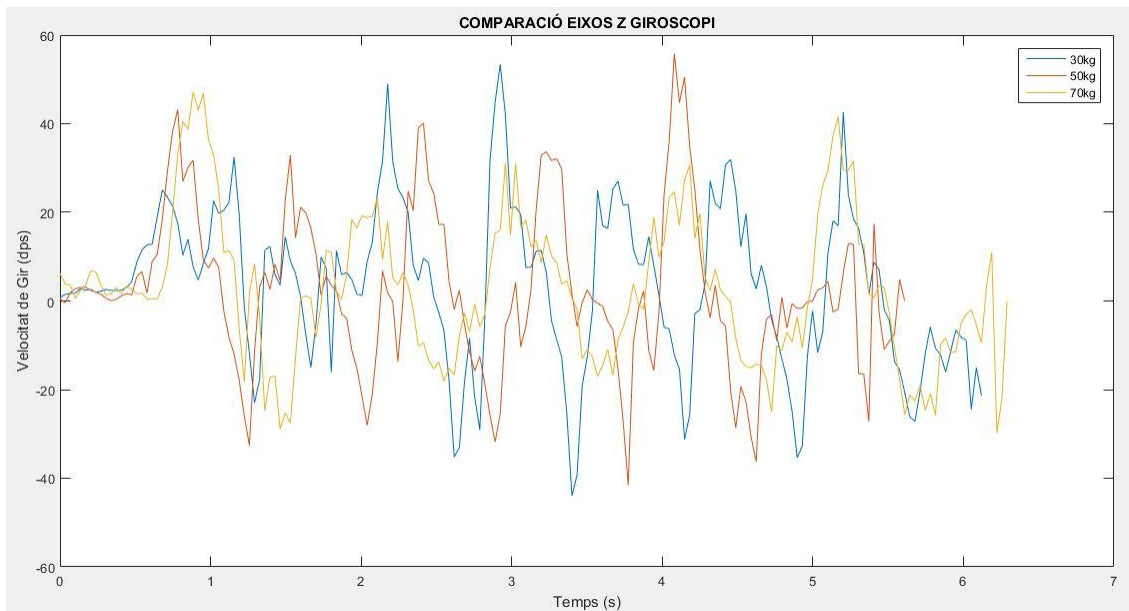
En la gràfica de sobre, es pot observar que en l'eix x no hi ha gairebé moviment, sobretot en els 5 primers segons que és on es troba localitzat l'exercici. Evidentment sí que hi ha variacions certament importants, però així es demostra que mai es pot fer un esquat completament vertical, a part del soroll que pot està rebent per inductància dels altres eixos del sensor. A més a més, tret de l'eix z que és el que hom s'esperaria que indiqués valors de velocitat de gir, també es pot apreciar uns valors pràcticament idèntics en l'y. D'aquesta manera es pot veure que el sensor, realment, no es trobava paral·lel al costat de l'esportista, sinó que estava una mica avançat i que llavors, el gir que es produïa en inclinar el cos cap endavant, queda descompost en dues components corresponents a l'eix y i al z. Així, es corrobora la conclusió a què s'ha arribat en el paràgraf anterior visualitzant el gràfic d'acceleracions.



Imatge 34: Gràfic de les mesures dels magnetòmetres en l'exercici d'esquat (50kg).

En aquest exercici, encara és més patent com afecta l'estructura de l'edifici i dels aparells emprats a l'hora de captar les mesures del camp magnètic. Com ja s'ha esmentat a l'apartat anterior, a prop d'estructures metàl·liques, el camp magnètic es distorsiona de manera imprevisible i és impossible arribar a res concloent únicament observant les lectures del magnetòmetre. Així, com en aquesta activitat, encara hi havia més elements metàl·lics a la vora, és inviable estudiar les dades d'aquest sensor. Tanmateix, a cel obert i lluny d'objectes d'aquesta naturalesa, el magnetòmetre és altament útil per a, com a mínim, saber quin és el pla paral·lel a la superfície terrestre.

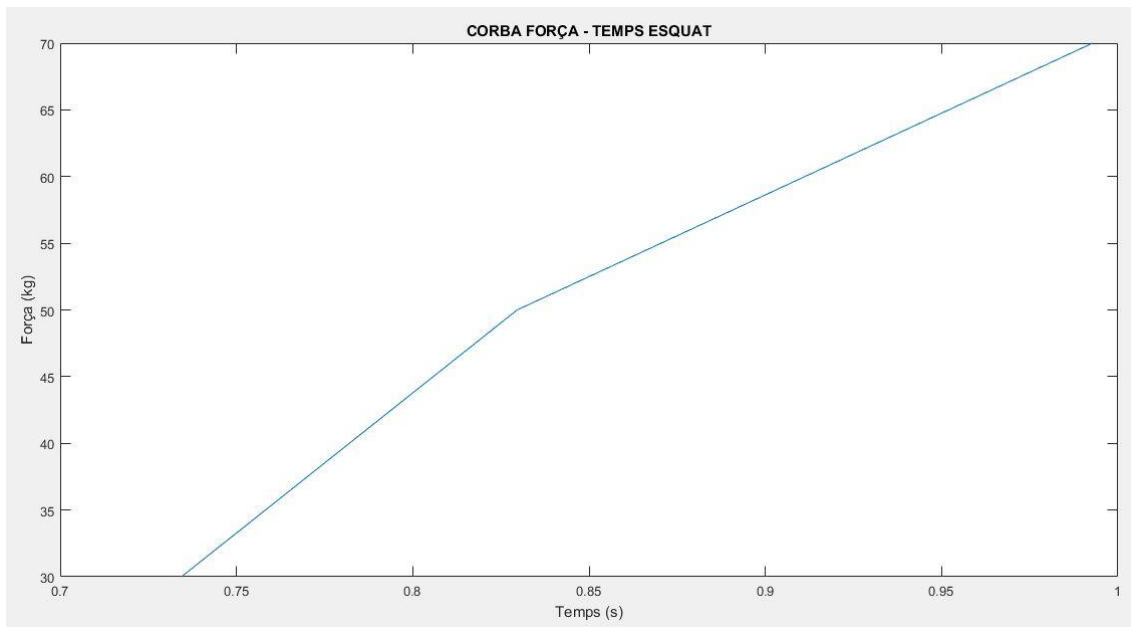
Per a comparar els temps de les tres sèries, es farà servir la mesura del giroscopi de l'eix z, que és el gràfic en què millor s'aprecien els cicles.



Imatge 35: Gràfic comparatiu entre les velocitats de gir de l'eix z en les 3 sèries d'esquat.

Així com en les dues últimes sèries, l'exercici comença al voltant dels 0,5s, en el cas de la primera no ho fa fins gairebé els 2 segons. Aquesta diferència, és deguda a què en la sèrie inicial es van començar a prendre les mesures abans d'agafar la barra i, conseqüentment, han quedat enregistrades durant els primers segons les dades referents a aquesta acció. A partir d'on comencen les respectives repeticions, es pot veure com hi ha cinc pics en cada sèrie corresponents a cada una d'elles. A part del període, que és més gran conforme més pes hi ha a la barra, pel que fa als valors màxims de velocitat no segueixen una pauta gaire clara. Això és degut a què com s'està estudiant la velocitat de gir pertinent a la inclinació del tronc, aquesta varia entre una repetició i una altra pel fet que el susdit balanceig no hauria d'existir i s'intenta corregir contínuament.

Tanmateix, per a l'objectiu que es persegueix, aconseguir una gràfica força – temps, es té prou amb saber el període i no és necessari tenir en compte aquesta velocitat. Així, i amb els valors de temps obtinguts, es troba la següent gràfica:



Imatge 36: Gràfica força – temps de l'exercici d'esquat.

Observant aquest nou gràfic, es pot veure el mateix que passa amb l'exercici anterior, conforme augmenta la força, també ho fa el temps, però no proporcionalment i, d'aquesta manera es torna a demostrar la fórmula que relaciona ambdós conceptes i s'arriba a la mateixa conclusió que a l'anterior apartat.

6. PRESSUPOST

El pressupost, tenint en compte tots els aspectes referents a costos de material i hores de treball, ascendeix a la quantitat de set mil nou-cents seixanta-quatre euros amb noranta-dos cèntims.

A continuació, es mostren les taules de pressupostos. Essent la primera del cost material del projecte:

ELEMENT	PREU / UNITAT	QUANT.	UNITAT	COST
Arduino UNO	28,96 €	1	Unitats	28,96 €
STEVAL-MKI159V1	16,08 €	2	Unitats	32,16 €
HC-05	5,81 €	1	Unitats	5,81 €
Resistència 10kΩ	0,036 €	4	Unitats	0,144 €
Capsa metacrilat	15,00 €	1	Unitats	15,00 €
Cablejat	0,10 €	0,2	Metres	0,02 €
Placa de connexions	21,95 €	1	Unitats	21,95 €
Porta piles	5,99 €	1	Unitats	5,99 €
Bossa	3,95 €	1	Unitats	3,95 €
Corretja	0,34 €	1,5	Metres	0,51 €
Tanques	0,42 €	1	Unitats	0,42 €
TOTAL				114,92 €

Taula 3: Pressupost del prototip.

I la segona, dels costos de mà d'obra:

ELEMENT	PREU / UNITAT	QUANT.	UNITAT	COST
Programació	12,50 €	175	Hores	2187,50 €
Muntatge prototip	9,375 €	40	Hores	375 €
Redacció de la memòria	11,75 €	450	Hores	5287,50 €
TOTAL				7850,00 €

Taula 4: Pressupost de la mà d'obra.

A més, el cost total del projecte es troba a la taula de sota:

ELEMENT	COST
Material prototip	114,92 €
Redacció de la memòria	7850,00 €
TOTAL	7964,92 €

Taula 5: Pressupost total del projecte.

7. CONCLUSIÓ

Com s'ha pogut veure en aquesta memòria, l'objectiu d'aquest projecte: el desenvolupament d'un prototip basat en unitats de mesura inercial, ha estat aconseguit satisfactòriament. A més, també s'han obtingut dues gràfiques –Imatge 30 i Imatge 36– en què s'ha pogut mostrar la viabilitat d'aquest prototip per a l'estudi del rendiment esportiu en dues proves diferents.

Altrament, també s'ha de dir que no s'han pogut aconseguir tots i cadascun dels objectius, encara que aquests eren secundaris. Per exemple, ha estat impossible una transmissió de dades directa des de l'Arduino fins a l'ordinador, que és on es tracten. Tanmateix, aquesta desviació del pla inicial ha estat deguda a problemes de compatibilitat dels controladors del Windows i, per tant, motius que estan fora del nostre abast.

Per altra banda, en conseqüència de fets com el d'haver de comprar nous elements perquè els inicials no eren adequats i altres contratemps que han anat sorgint, el prototip ha quedat en les primeres fases de la seva evolució i no s'ha implementat en un suport més adequat. D'aquesta manera, és més voluminós, per exemple, del que hauria de ser per a una correcta ergonomia.

Encara i així, la resolució del projecte ha estat l'adequada. A més a més, el temps que s'ha hagut d'invertir en aquest ha servit per a complementar els coneixements adquirits durant els 4 anys que ha durat el grau i per a poder veure i sentir de primera mà què és dur a terme un projecte d'una ja certa envergadura. I, d'aquesta manera, aprendre dels errors comesos i poder millorar de cara a projectes futurs.

7.1. TREBALLS FUTURS

Aquest projecte ha estat un primer contacte amb el món de l'esport vist des d'un anàlisi numèric. D'aquesta manera, ha assentat els fonaments per a què a continuació es duguin a terme les millores i els progressos que es creguin necessaris a partir d'aquesta base.

Un dels àmbits on es podrien centrar els futurs projectes seria en aconseguir una comunicació sense fils directa entre la placa controladora i l'ordinador. D'aquesta manera es podria arribar a dur a terme un tractament a temps real de les dades rebudes.

Una altra possibilitat també és que les mesures se segueixin enviant a l'aplicació mòbil, però que aquesta mateixa sigui la que s'encarregui de fer els càlculs pertinents i, posteriorment, que mostri aquests resultats, per exemple, en un gràfic o en una simulació del moviment del cos humà.

A més, es podria transformar el prototip en un sensor integrat a la pròpia roba de l'esportista de tal manera que no hi hauria res que destorbés l'entrenament de la persona en qüestió.

Aquests tres exemples són una ínfima mostra de les vessants que pot prendre aquest projecte. Per això, vull deixar en mans de cadascú el poder d'imaginar-se qualsevol altra opció que pugui treure profit d'aquest projecte. L'objectiu del qual és oferir aquesta possibilitat a tothom qui la vulgui aprofitar.

8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] Y. Z i X. H, «A wearable rehabilitation game controller using IMU sensor,» *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, pp. 1060-1062, 2018.
- [2] H. T i B. H. Effenberg A, «A Rapport and Gait Monitoring System Using a Single Head-Worn IMU during Walk and Talk,» *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1-5, 2019.
- [3] S. E, P. A, B. J, B. S, G. L i B. M, «Real-Life Measurement of Tri-Axial Walking Ground Reaction Forces Using Optimal Network of Wearable Inertial Measurement Units,» vol. 26, núm. 6, pp. 1243-1253, 2018.
- [4] T. B, G. F, A. B i T. G, «An IMU-based sensor network to continuously monitor rowing technique on the water,» *2011 Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, pp. 253-258, 2011.
- [5] G. B, C. T, S. R i E. B, «IMU-based pose determination of scuba divers' bodies and shanks,» *2015 IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, pp. 1-6, 2015.
- [6] C. S, B. N, B. B i N. G, «Estimation of 3D Knee Joint Angles during Cycling Using Inertial Sensors: Accuracy of a Novel Sensor-to-Segment Calibration Procedure Based on Pedaling Motion,» *Sensors*, vol. 19, núm. 11, p. 2474, 2019.
- [7] M. M, B. A, H. D, A. I, H. N, N. R, W. J i W. A, «An Algorithm for the Automatic Detection and Quantification of Athletes' Change of Direction Incidents Using IMU Sensor Data,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, núm. 12, pp. 4518-4527, 2019.
- [8] Y. Q, C. I i C. A, «Human velocity tracking and localization using 3 IMU sensors,» *2013 6th IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, pp. 25-30, 2013.
- [9] D. F, M. G i A. K, «Estimation of Front-Crawl Energy Expenditure Using Wearable Inertial Measurement Units,» *IEEE Sensor Journal*, vol. 14, núm. 4, pp. 1020-1027, 2014.
- [10] L. M, F. M i P. J, «Wearable wireless sensing for sports and ubiquitous interactivity,» *2011 IEEE SENSORS Proceedings*, pp. 1425-1428, 2011.
- [11] F. Wittmann, O. Lambercy i R. Gassert, «Magnetometer-Based Drift Correction During Rest in IMU Arm Motion Tracking,» *Sensors*, vol. 19, núm. 6, p. 1312, 2019.

- [12] M. R., Y. D., P. H., Y. T., S. X., Z. Y. i L. L., «Basketball Movements Recognition Using Wrist Wearable Inertial Measurement Unit,» *2018 IEEE 1st International Conference on Micro/Nano Sensors for AI, Healthcare and Robotics (NSENS)*, pp. 73-76, 2018.
- [13] Farnell, «STEVAL-MKI159V1,» Farnell, 2019. [En línia]. Available: <https://es.farnell.com/stmicroelectronics/steval-mki159v1/placa-de-adaptaci-n-placa-base/dp/2818301?st=Lsm9ds1#>. [Últim accés: 24 Septembre 2019].
- [14] «Aprendiendo Arduino,» 13 Novembre 2016. [En línia]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/hc-05/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [15] Ev-Pro, «Encoder 6.0,» 2 Febrer 2012. [En línia]. Available: <http://sistemainercial.blogspot.com/>. [Últim accés: 28 Septembre 2019].
- [16] Microgate, «Imagen y deporte,» [En línia]. Available: <http://www.imagenydeporte.com/es/default.asp>. [Últim accés: 28 Septembre 2019].
- [17] Microgate, «What is Optojump,» 2014. [En línia]. Available: <http://www.optojump.com/What-is-OptoJump.aspx>. [Últim accés: 28 Septembre 2019].
- [18] S. O. H. Madgwick, A. J. L. Harrison i R. Vaidyanathan, «Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm,» *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 1-7, 2011.
- [19] «Arduino Code,» Adafruit, 1 Febrer 2017. [En línia]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-lsm9ds1-accelerometer-plus-gyro-plus-magnetometer-9-dof-breakout/arduino-code>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [20] «Universal asynchronous receiver-transmitter,» 10 Septembre 2019. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter. [Últim accés: 22 September 2019].
- [21] «Serial,» Arduino, 6 Juny 2019. [En línia]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [22] «Comunicación Serie Arduino,» Aprendiendo Arduino, 2 Juliol 2016. [En línia]. Available: <http://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/07/02/comunicacion-serie-arduino/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [23] «I2C - Puerto, Introducción, trama y protocolo,» 28 Octubre 2017. [En línia]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [24] «Puerto Serial - protocolo y su teoría,» 27 Octubre 2017. [En línia]. Available:

<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/puerto-serial/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].

- [25] «Puerto serie,» 1 Agost 2019. [En línia]. Available: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Puerto_serie. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [26] «Filtro de Kalman,» 12 Septembre 2019. [En línia]. Available: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Kalman. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [27] «El filtro de Kalman,» 28 Març 2014. [En línia]. Available: <https://quantdare.com/filtro-kalman/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [28] L. Llamas, «Medir la inclinación con IMU, Arduino y filtro complementario,» 7 Septembre 2016. [En línia]. Available: <https://www.luisllamas.es/medir-la-inclinacion-imu-arduino-filtro-complementario/>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [29] C. Chérigo i H. Rodríguez, «Evaluación de algoritmos de fusión de datos para estimación de la orientación de vehículos aéreos no tripulados,» *Revista I+D Tecnológico*, vol. 13, núm. 2, pp. 90-99, 21 Novembre 2017.
- [30] «Inertial measurement unit,» 22 Septembre 2019. [En línia]. Available: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [31] «Connect 2 LSM9DS0 to Flora,» Octubre 2015. [En línia]. Available: <https://arduino.stackexchange.com/questions/16609/connect-2-lsm9ds0-to-flora>. [Últim accés: 22 Septembre 2019].
- [32] Arduino, «Arduino UNO Rev3,» Arduino, 2019. [En línia]. Available: store.arduino.cc/arduino-uno-rev3. [Últim accés: 24 Septembre 2019].
- [33] STMicroelectronics, «LSM9DS1,» STMicroelectronics, 2019. [En línia]. Available: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm9ds1.html#resource>. [Últim accés: 24 Septembre 2019].
- [34] ITEAD, «Serial Port Bluetooth Module (Master/Slave): HC-05,» ITEAD, 24 Març 2017. [En línia]. Available: [https://www.itead.cc/wiki/Serial_Port_Bluetooth_Module_\(Master/Slave\):_HC-05](https://www.itead.cc/wiki/Serial_Port_Bluetooth_Module_(Master/Slave):_HC-05). [Últim accés: 24 Septembre 2019].

9. ANNEXOS

9.1. ANNEX A: PASOS A SEGUIR PER A RECOPILAR I VISUALITZAR LES DADES EN EL PROGRAMA MATLAB

- 1) Primer de tot s'ha d'haver vinculat el mòbil al mòdul HC-05. El codi de vinculació és 1234.
- 2) A continuació, una vegada dins de l'aplicació, es prem el botó START per a començar a recopilar les dades enviades per les IMU.
- 3) Quan es vulgui aturar la recepció de dades, es polsa el botó STOP.
 - a. Si es torna a activar l'obtenció de dades, les rebudes fins al moment es sobreescrueixen, per tant, si no s'han guardat, es perdran.
- 4) Un cop parada la comunicació, si es volen guardar les dades rebudes des de l'última vegada que s'ha pres el botó START, s'ha de polsar el botó SAVE.
- 5) Llavors, en el quadre de text inferior, es podrà veure el directori on es troba el fitxer (anomenat *prova.txt*).
 - a. El directori en qüestió és:
/storage/emulated/0/Android/data/com.example.siddharta.arduino/files
/Documents/prova.txt
- 6) Per a obtenir el fitxer, s'ha d'anar a la carpeta *Mis archivos* → *Memoria interna* → *Android* → *data* → *com.example.siddharta.arduino* → *files* → *Documents*
- 7) Dins d'aquesta carpeta s'obté el fitxer *prova.txt* i es copia a qualsevol altre carpeta com *Documentos*, *Descargas*, etc.
 - a. Per a enviar l'arxiu és necessari copiar-lo en una altra carpeta, perquè Android no deixa adjuntar o pujar arxius directament des de directoris exclusius d'aplicacions.
- 8) Posteriorment, l'arxiu es passa a l'ordinador amb el mètode preferit (correu, cable, etc.).
- 9) Un cop a l'ordinador, l'arxiu s'ha de guardar a la mateixa carpeta en què es trobi el fitxer *Lectura_fichero_txt.m*.
- 10) Abans de poder executar el programa, s'ha d'obrir el fitxer on hi ha guardades les dades i esborrar les primeres una o dues línies que no segueixen un patró adequat.
 - a. El patró és *xn: num1 num2 num3* on:
 - i. x pot ésser "a", "g" o "m" segons sigui una lectura de l'acceleròmetre, el giroscopi o el magnetòmetre, respectivament.
 - ii. n pot ser "1" o "2" segons de quina IMU sigui el sensor x.
 - iii. num1, num2 i num3 són els eixos x, y i z del sensor x en qüestió, respectivament.
- 11) Guardat el fitxer havent eliminat aquestes línies, que són degudes a què és pràcticament impossible que el HC-05 i el mòbil estableixin la connexió just quan l'Arduino envia el principi de la línia, ja es pot executar el programa des de Matlab.
- 12) Obtingudes les mesures en els vectors corresponents, ja es poden fer els gràfics pertinents o executar les ordres que cregui necessàries l'usuari.

9.2. ANNEX B: CODI DEL PROGRAMA ARDUINO

```
//Lliberies
#include <SoftwareSerial.h> //Comunicació sèrie amb HC-05 a través
                                //d'altres pins que no siguin los Tx i
                                //Rx habituals per a què es pugui pujar
                                //el programa sense desconectar-lo
#include <Wire.h>               //Comunicació I2C
#include <SPI.h>                //Comunicació SPI (però necessària per
                                //a I2C també)
#include <Adafruit_LSM9DS1.h>    //Comunicació amb LSM9DS1 (IMU)
#include <Adafruit_Sensor.h>     //Ordres que utilitza l'anterior

//Declaració de pins
//Pins comunicació BT
const int txPin = 11;          //Tx de l'Arduino (Rx del HC-05)
const int rxPin = 10;          //Rx de l'Arduino (Tx del HC-05)
//Pins SDO de les IMU per a seleccionar LSB de direcció I2C
const int ST_1 = 8;
const int ST_2 = 13;

//Declaració dels pins que faran de port sèrie addicional
SoftwareSerial BTSerial(rxPin, txPin);

//Declaració de l'objecte LSM9DS1 amb les seves propietats
Adafruit_LSM9DS1 lsm = Adafruit_LSM9DS1();

//Declaració de valors predeterminats per a la comunicació I2C
#define LSM9DS1_SCK A5
#define LSM9DS1_MISO 12
#define LSM9DS1_MOSI A4
#define LSM9DS1_XGCS 6
#define LSM9DS1_MCS 5

//Funció per a definir rangs dels sensors
void setupSensor()
```

```

{
  //Rang acceleròmetre
  lsm.setupAccel(lsm.LSM9DS1_ACCELRange_2G);
  //Rang magnetòmetre
  lsm.setupMag(lsm.LSM9DS1_MAGGAIN_4GAUSS);
  //Rang giroscopi
  lsm.setupGyro(lsm.LSM9DS1_GYROSCALE_245DPS);
}

//Setup
void setup()
{
  //Inici del port sèrie habitual a 9600 b/s
  Serial.begin(9600);
  //Inici del port sèrie del HC-05 a 38400b/s
  BTSerial.begin(38400);

  //Definició dels pins de control de les IMU com a sortides
  pinMode(ST_1, OUTPUT);
  pinMode(ST_2, OUTPUT);

  //LSB de direcció a 1 (no llegirà la IMU_2)
  digitalWrite(ST_2,HIGH);
  delay(10);
  //LSB de direcció a 0 (sí llegirà la IMU_1)
  digitalWrite(ST_1,LOW);
  delay(10);

  //Comprovació d'una correcta connexió amb la IMU
  Serial.println("LSM9DS1 data read demo");
  if (!lsm.begin())
  {
    Serial.println("Oops ... unable to initialize the LSM9DS1. Check your wiring!");
    while (1);
  }
}

```

```

Serial.println("Found LSM9DS1 9DOF");

//Funció declarada a dalt
setupSensor();

//Espera 1 segon per a què es configuri la IMU
delay(1000);

//LSB de direcció a 1 (no llegirà la IMU_1)
digitalWrite(ST_1,HIGH);
delay(10);
//LSB de direcció a 0 (sí llegirà la IMU_2)
digitalWrite(ST_2,LOW);
delay(10);

//Comprovació d'una correcta connexió amb la IMU
Serial.println("LSM9DS1 data read demo");
//Comprovació d'una correcta connexió amb la IMU
if (!Ism.begin())
{
  Serial.println("Oops ... unable to initialize the LSM9DS1. Check your wiring!");
  while (1);
}
Serial.println("Found LSM9DS1 9DOF");

//Funció declarada a dalt
setupSensor();
}

//LOOP
void loop()
{
  //Declaració de les variables que detecten quan hi ha dades disponibles
  sensors_event_t a, m, g, temp;

```

```

//LSB de direcció a 1 (no llegirà la IMU_2)
digitalWrite(ST_2,HIGH);
delay(0.01);
//LSB de direcció a 0 (sí llegirà la IMU_1)
digitalWrite(ST_1,LOW);
delay(0.01);

//Petició de lectura
lsm.read();

//Detecció de dades disponibles
lsm.getEvent(&a, &m, &g, &temp);

//Impressió dades rebudes
BTSerial.print("a1: "); BTSerial.print(a.acceleration.x); BTSerial.print(" ");
BTSerial.print(a.acceleration.y); BTSerial.print(" "); BTSerial.print(a.acceleration.z);
BTSerial.print("\n");

BTSerial.print("m1: "); BTSerial.print(m.magnetic.x); BTSerial.print(" ");
BTSerial.print(m.magnetic.y); BTSerial.print(" "); BTSerial.print(m.magnetic.z);
BTSerial.print("\n");

BTSerial.print("g1: "); BTSerial.print(g.gyro.x); BTSerial.print(" ");
BTSerial.print(g.gyro.y); BTSerial.print(" "); BTSerial.print(g.gyro.z); BTSerial.print("\n");

//LSB de direcció a 1 (no llegirà la IMU_1)
digitalWrite(ST_1,HIGH);
delay(0.01);
//LSB de direcció a 0 (sí llegirà la IMU_2)
digitalWrite(ST_2,LOW);
delay(0.01);

//Petició de lectura
lsm.read();

//Detecció de dades disponibles
lsm.getEvent(&a, &m, &g, &temp);

//Impressió dades rebudes

```

```
    BTSerial.print("a2: "); BTSerial.print(a.acceleration.x); BTSerial.print(" ");
    BTSerial.print(a.acceleration.y); BTSerial.print(" "); BTSerial.print(a.acceleration.z);
    BTSerial.print('\n');

    BTSerial.print("m2: "); BTSerial.print(m.magnetic.x); BTSerial.print(" ");
    BTSerial.print(m.magnetic.y); BTSerial.print(" "); BTSerial.print(m.magnetic.z);
    BTSerial.print('\n');

    BTSerial.print("g2: "); BTSerial.print(g.gyro.x); BTSerial.print(" ");
    BTSerial.print(g.gyro.y); BTSerial.print(" "); BTSerial.print(g.gyro.z); BTSerial.print('\n');
}
```

9.3. ANNEX C: CODI DE L'APLICACIÓ

```
//Classe principal de l'aplicació: MainActivity
//Nom del paquet de l'aplicació
package com.example.siddharta.arduinoobt;

//Declaració de llibreries
//BT
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;
import android.bluetooth.BluetoothDevice;
import android.bluetooth.BluetoothSocket;

//Funcionalitats de programació
import android.content.Intent;
import android.os.Environment;
import android.os.Handler;
import android.os.Looper;

//Funcionalitats de visualització i comportament de l'aplicació
import android.os.Message;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.os.Bundle;
import android.text.method.ScrollingMovementMethod;

//Botons i quadres de text de l'aplicació
import android.view.View;
import android.widget.Button;
import android.widget.TextView;

//Fitxers
import java.io.File;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.IOException;
import java.util.UUID;

public class MainActivity extends AppCompatActivity {
    //Declaració variables referides al BT
    public final static String MODULE_MAC = "00:21:13:03:A2:C4";
    public final static int REQUEST_ENABLE_BT = 1;
```

```

private static final UUID MY_UUID = UUID.fromString("00001101-0000-1000-8000-
00805f9b34fb");

//Variable d'emmagatzematge de les dades rebudes
public StringBuilder record = new StringBuilder();

//Flags
public boolean Connected = false;

//Variables del BT
BluetoothAdapter adapter;
BluetoothSocket socket;
BluetoothDevice device;

//Referències als objectes del layout de l'aplicació
Button btnStart;
Button btnStop;
Button btnSave;
TextView readings;
TextView txtLog;

//Fils
ConnectedThread thread = null;
public Handler handler;

//En crear-se l'aplicació (obrir-se)
@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);

    //On es guarda el fitxer
    File path =
getApplicationContext().getExternalFilesDir(Environment.DIRECTORY_DOCUMENTS)
;

```



```

//Nom del fitxer
final File output = new File(path + File.separator + "prova.txt");

//Declaració dels objectes del layout
readings = (TextView) findViewById(R.id.readings);
readings.setMovementMethod(new ScrollingMovementMethod()); //Permet fer
"scroll" al quadre

txtLog = (TextView) findViewById(R.id.txtLog);
txtLog.setMovementMethod(new ScrollingMovementMethod()); //Permet fer
"scroll" al quadre
txtLog.setText("");

btnStop = (Button) findViewById(R.id.btnStop);
btnStop.setEnabled(false);

//Quan detecta que s'ha polsat STOP:
btnStop.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View v) {

        LogTxt("[Info]: Closing connection...");

        //Només si estava en marxa
        if (Connected) {

            //Especifica nou estat dels botons
            btnStart.setEnabled(true);
            btnStop.setEnabled(false);
            btnSave.setEnabled(true);

            //Atura comunicació BT
            Connected = false;

            if (socket.isConnected() && thread != null) {
                thread.cancel();
            }
        }
    }
});

```

```

    }

    LogTxt("[Info]: Connection closed.");

    } else {
        LogTxt("[Warning]: Connection already closed.");
    }
}

});

btnStart = (Button) findViewById(R.id.btnStart);
//Quan detecta que s'ha polsat START:
btnStart.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View v) {

        LogTxt("[Info]: Starting connection and reseting variables...");

        //Només si estava aturat
        if (!Connected) {

            //Especifica nou estat dels botons
            btnStart.setEnabled(false);
            btnStop.setEnabled(true);
            btnSave.setEnabled(false);

            //Comença comunicació BT
            Connected = true;

            //Reinicialitza variables
            record = new StringBuilder("");
            readings.setText("");

            LogTxt("[Info]: Variables reseted.");

```

```

//Connexió BT
adapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();

//Si no està activat
if (!adapter.isEnabled()) {
    //Prova a activar-lo
    Intent enableBTIntent = new
Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);
    startActivityForResult(enableBTIntent, REQUEST_ENABLE_BT);
}
//Si sí ho està
else {
    //Inicia connexió
    iniBTProcess();
}

} else {
    LogTxt("[Warning]: Already connected.");
}

}

});

btnSave = (Button) findViewById(R.id.btnSave);
btnSave.setEnabled(false);
//Quan detecta que s'ha polsat SAVE:
btnSave.setOnClickListener(new View.OnClickListener() {
    @Override
    public void onClick(View v) {

        //Només si no està en marxa
        if (!Connected) {
            try {
                //Prova a guardar el fitxer

```

```

        LogTxt("[Info]: Opening file...");
        FileOutputStream file = new
FileOutputStream(output.getAbsolutePath());
        LogTxt("[Info]: Writing file...");
        file.write(record.toString().getBytes());
        file.flush();
        LogTxt("[Info]: Closing file...");
        file.close();
        LogTxt("[Info]: File saved. Directory path: " + output.getAbsolutePath());
    } catch (IOException e) {
        LogTxt("[Error]: Failed to edit file - " + e.toString());
        e.printStackTrace();
    }
}
}
});
}

```

@Override

```

protected void onActivityResult(int requestCode, int resultCode, Intent data){
    super.onActivityResult(requestCode,resultCode,data);

    if(resultCode == RESULT_OK && requestCode == REQUEST_ENABLE_BT){
        iniBTProcess();
    }
}

```

//Funció d'inicialització de la connexió BT

```

public void iniBTProcess(){
    //Si està disponible
    if (adapter.isEnabled()){

        //Crea objecte BT amb l'adreça corresponent
        BluetoothSocket tmp_s = null;
        device = adapter.getRemoteDevice(MODULE_MAC);
    }
}

```

```

try {
    //Prova a connectar-se
    tmp_s = device.createRfcommSocketToServiceRecord(MY_UUID);
    socket = tmp_s;
    socket.connect();

    LogTxt("[Info]: HC-05 connected.");
    LogTxt("[Info]: Receiving data...");
} catch (IOException e) {
    //Si no ho aconseguim, llança excepció...
    LogTxt("[Error]: Failed to connect to HC-05 - MAC: " + MODULE_MAC + " - "
        + e.toString());
    LogTxt("[Info]: Closing connection...");
    //...i prova a tancar la connexió
    try {
        socket.close();
    } catch (IOException e1) {
        LogTxt("[Error]: Failed to close connection - " + e1.toString());
        return;
    }
}

//Funció per a la lectura de dades, impressió per pantalla i guardat a variable
handler = new Handler(Looper.getMainLooper()){
    @Override
    public void handleMessage(Message msg){
        //Si hi ha missatge a llegir
        if (msg.what == ConnectedThread.RESPONSE_MESSAGE){
            String txt = (String)msg.obj;
            //Cada 1000 caràcters escrits al quadre de text borra els 200 primers que
es
            //trobin en aquest per a què no es quedi sense memòria (com a màxim hi
haurà
            //1000 caràcters al quadre)

```

```

        if (readings.getText().toString().length() >= 1000){
            String tmp_txt = readings.getText().toString().substring(200);
            readings.setText(tmp_txt + "\n");
            readings.append(txt);
        }
        //Si hi ha menys, concatena el que hi hagi amb la nova informació
        else{
            readings.append("\n" + txt);
        }
    }
    //Sempre guarda a la variable totes les dades rebudes
    String txt = (String)msg.obj;
    record.append("\n" + txt);
}
};

thread = new ConnectedThread(socket,handler);
thread.start();
}

//Funció per a escriure en el quadre de text inferior (Logs)
public void LogTxt(String msg){
    txtLog.append(msg + "\n");
}
}

//Classe encarregada de la lectura del BT
//Referir-se a la documentació per a classe "Thread", a la qual s'extén
//Nom del paquet de l'aplicació
package com.example.siddharta.arduinoBT;

//Declaració de llibreries
//BT
import android.bluetooth.BluetoothSocket;

```

```

    //Relatives a l'entrada i sortida de dades
import java.io.BufferedReader;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.io.InputStreamReader;
import java.io.OutputStream;

    //Funcionalitats de programació
import android.os.Handler;
import android.os.Message;
import android.util.Log;

public class ConnectedThread extends Thread {
    private final BluetoothSocket btsocket;
    private final InputStream in;
    private final OutputStream out;
    public static final int RESPONSE_MESSAGE = 10;
    Handler handler;

    public ConnectedThread(BluetoothSocket socket, Handler handler){
        btsocket = socket;
        InputStream tmp_i = null;
        OutputStream tmp_o = null;
        this.handler = handler;

        try {
            tmp_i = socket.getInputStream();
            tmp_o = socket.getOutputStream();
        } catch (IOException e) {
            Log.e("Error:",e.getMessage());
        }

        in = tmp_i;
        out = tmp_o;

        try {

```

```

        out.flush();
    } catch (IOException e){
        return;
    }
}

public void run(){
    BufferedReader br = new BufferedReader(new InputStreamReader(in));
    while (true){
        try {
            String read = br.readLine();
            Message msg = new Message();
            msg.what = RESPONSE_MESSAGE;
            msg.obj = read;
            handler.sendMessage(msg);
        } catch (IOException e){
            break;
        }
    }
}

public void cancel(){
    try {
        btsocket.close();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
}

```


9.4. ANNEX D: CODI MATLAB

```
%Es demana el nom del fitxer
NomFit = input('Nom del fitxer: ');

%Obre fitxer
FileID = fopen(NomFit,'r');

%Format de la línia del fitxer
formatSpec = '%s %f %f %f';

%Lectura fitxer
A = fscanf(FileID, formatSpec, [6 Inf]);

%Tanca fitxer
fclose(FileID);

%Inicialitzem variables d'índexs
i_acc1=1;
i_acc2=1;
i_mag1=1;
i_mag2=1;
i_gir1=1;
i_gir2=1;

%Comprovació de a què correspon cada línia
%Les lletres i els n° de sensor estan en ASCII
for i=1:length(A)
    if A(1,i)==97          %a(acceleròmetre)
        if A(2,i)==49      %1
            Acc(i_acc1,1)=A(4,i); %x
            Acc(i_acc1,2)=A(5,i); %y
            Acc(i_acc1,3)=A(6,i); %z
            i_acc1=i_acc1+1;
        elseif A(2,i)==50    %2
            Acc(i_acc2,4)=A(4,i); %x
```

```

        Acc(i_acc2,5)=A(5,i); %y
        Acc(i_acc2,6)=A(6,i); %z
        i_acc2=i_acc2+1;
    end
elseif A(1,i)==109          %m(magnetòmetre)
    if A(2,i)==49            %1
        Mag(i_mag1,1)=A(4,i); %x
        Mag(i_mag1,2)=A(5,i); %y
        Mag(i_mag1,3)=A(6,i); %z
        i_mag1=i_mag1+1;
    elseif A(2,i)==50        %2
        Mag(i_mag2,4)=A(4,i); %x
        Mag(i_mag2,5)=A(5,i); %y
        Mag(i_mag2,6)=A(6,i); %z
        i_mag2=i_mag2+1;
    end
elseif A(1,i)==103          %g(giroscopi)
    if A(2,i)==49            %1
        Gir(i_gir1,1)=A(4,i); %x
        Gir(i_gir1,2)=A(5,i); %y
        Gir(i_gir1,3)=A(6,i); %z
        i_gir1=i_gir1+1;
    elseif A(2,i)==50        %2
        Gir(i_gir2,4)=A(4,i); %x
        Gir(i_gir2,5)=A(5,i); %y
        Gir(i_gir2,6)=A(6,i); %z
        i_gir2=i_gir2+1;
    end
end
end
end

```

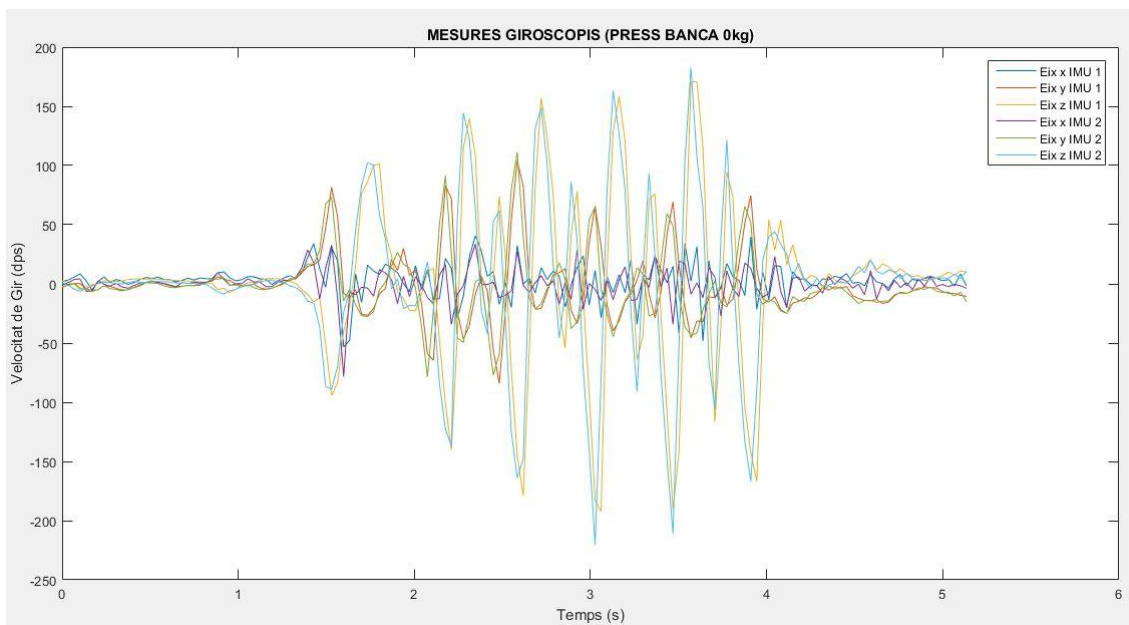
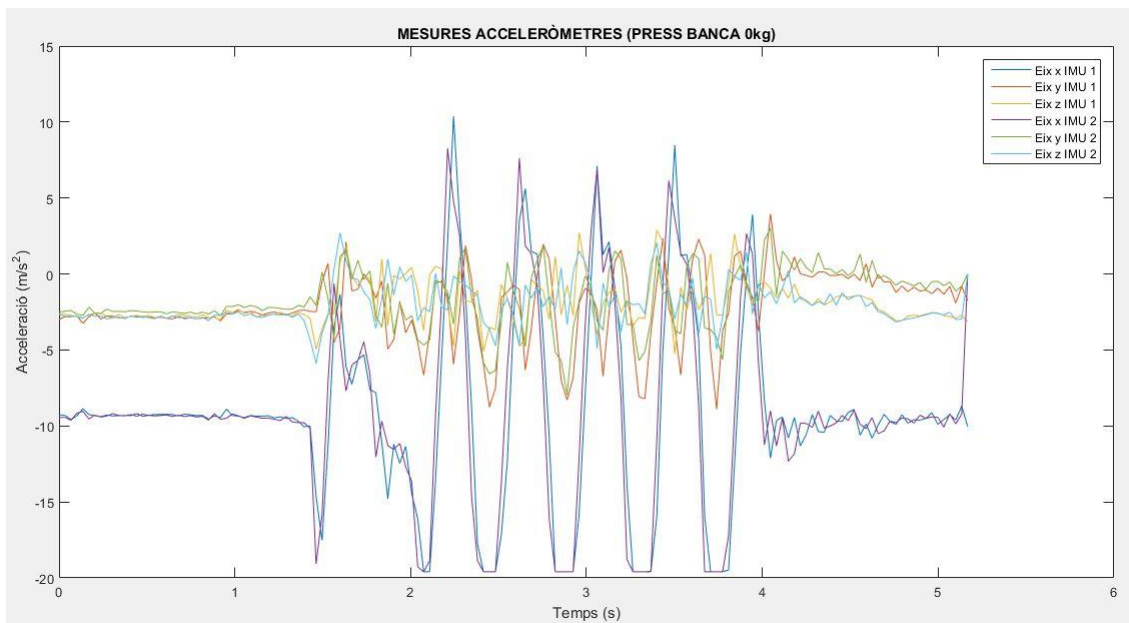
%Declaració període de mostreig

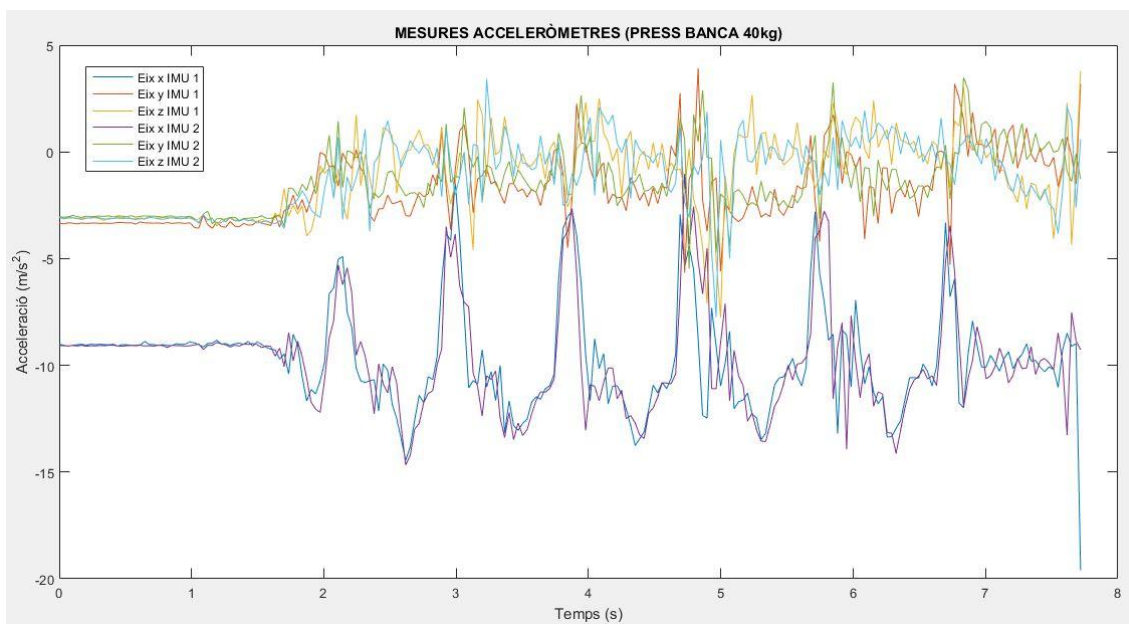
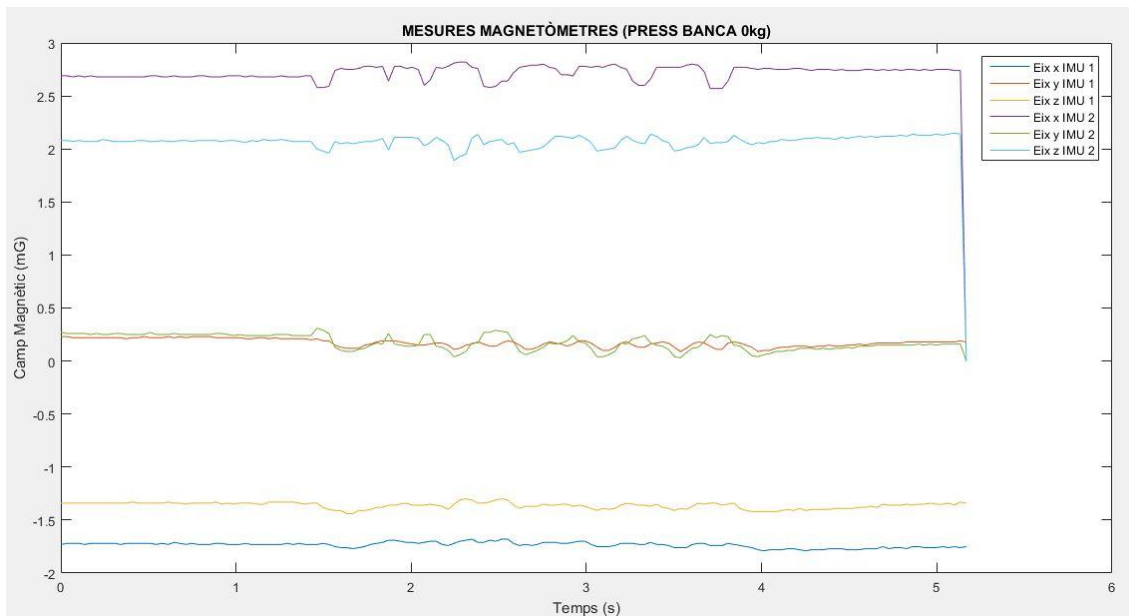
Periode = 0.034; %en segons

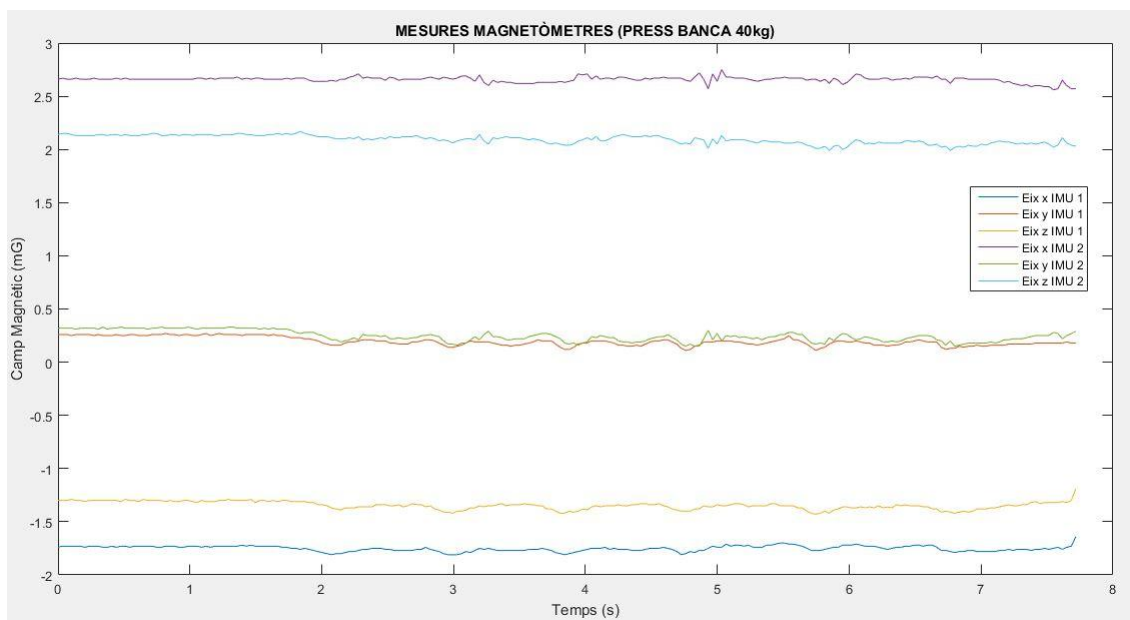
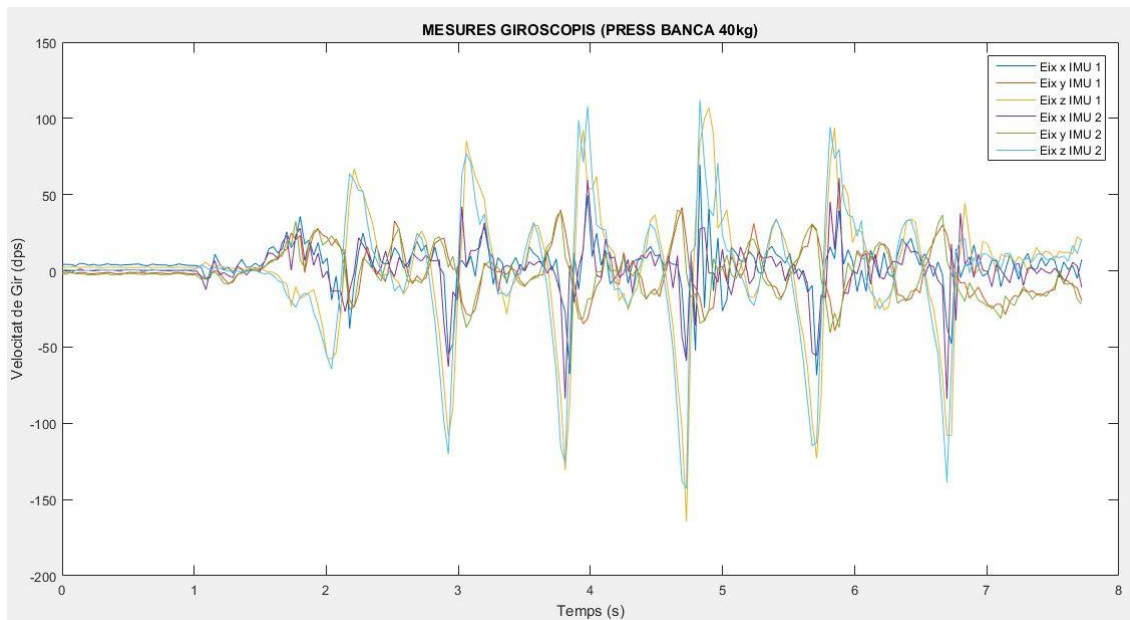
%Declaració vectors temps

```
%Es declaren 3 vectors perquè no sempre hi ha el mateix nº de mostres  
%per a tots els sensors  
Temps_Acc = (0:Periode:(length(Acc(:,1)) - 1)*Periode);  
  
Temps_Gir = (0:Periode:(length(Gir(:,1)) - 1)*Periode);  
  
Temps_Mag = (0:Periode:(length(Mag(:,1)) - 1)*Periode);
```

9.5. ANNEX E: GRÀFICS EXERCICI DE *PRESS BANCA* (SÈRIES DE 0KG I 40KG)







9.6. ANNEX F: GRÀFICS EXERCICI D'ESQUAT (SÈRIES DE 30KG I 70KG)

